

INSTITUTO DE
ARQUITECTURA
TROPICAL
COSTA RICA

BAMBOO THE VEGETAL MIRACLE
BAMBÚ EL MILAGRO VEGETAL

JIMENA UGARTE
MAGRIT HABUSTA
Costa Rica - Alemania

0. CONTENIDO

1.	Preface / Prefacio	5
2.	Facts on bamboo / Datos del bambú	6
2.1.	Geography/ Geografía	10
2.2.	History/ Historia	10
3	Applications and properties/ Aplicaciones y Propiedades	13
4	Bamboo in Architecture and Building / Bambú en Arquitectura y Construcción	20
4.1.	Vernacular building traditions/ Construcciones Vernaculares Tradicionales	21
4.2.	Examples and techniques from Asia / Ejemplos y Técnicas de Asia	21
4.3.	Examples and techniques from Oceania / Ejemplos y Técnicas de Oceanía	23
4.4.	Examples and techniques from Latin America / Ejemplos y Técnicas de Latinoamérica	25
4.5.	Examples and techniques from Africa / Ejemplos y Técnicas de Africa	25
5.	New ways of using bamboo / Nuevas formas de usar el bambú	26
5.1	The standardized ways / La industrialización	27
5.1.1.	Low cost housing / Casas de bajo costo	28
5.1.2.	Standardized structures / Estructuras industrializadas	28
5.1.3	The individual ways / Artesanal	35
6.	Other uses /Otros usos	35
6.1.	Bamboo-reinforced concrete / Concreto reforzado con bambú	37
6.2.	Laminated bamboo / Bambú laminado	37
6.3.	Board materials / Planchas de bambú	38
6.4.	Prefabricated building parts / Piezas prefabricadas de bambú	38
7.	Sustainable Architecture / Arquitectura Sostenible	40
8.	Earthquake-resistant architecture / Arquitectura Resistente a sismos	41
8.1.	Outlook - future options and criticism / Visión futura opciones y crítica	43
9.	Illustration Sources /Fuente de las ilustraciones	44
10	Bibliography / Bibliografía	45
11		

1. PREFACE

At the entrance to a new millennium we find ourselves in a time when resources become more and more scarce and simultaneously the need to provide living, housing and energy for more and more humans is urging the responsible ones in society and science to search for alternative and - even more important - regrowing materials. Considering the subject as an integral matter, another aspect is the use of materials available in the respective region to avoid energy- and cost intensive transport. Of course different kinds of woods are of interest, but also hemp, reeds and maybe most important of all the bamboo must be considered as raw materials for fuels, buildings, constructions and other artifacts. Many of the materials in question have been used traditionally by local populations throughout the world, but with the modern way of live, technical progress and also with internationalism the traded knowledge nowadays often is about to disappear or even already has disappeared. Regrettably, in a lot of places people now prefer to apply modern techniques they are not trained for and that are not appropriate for use in humid climates or seismic regions at a much higher cost than the traditional way.

Our future task will be not only to preserve the knowledge of cultivating and working these plants but also in improving techniques and inventing new ones in order to match the necessities of modern live. Not the least factor in this enterprise is creating an ecological conscience and trying to achieve closed circles of energy. The research for sustainable technologies and working methods affords also a more open-minded way of thinking - the ability to make unusual conclusions, to always think one step ahead and to put things together in a complete new way using fantasy and wit will be the main virtue in this field.

And which material can inspire our thoughts more than the bamboo, used by men on nearly every continent for thousands of years in a greater diversity than probably any other material on earth?

1. PREFACIO

Con la llegada del nuevo siglo nos encontramos en un momento en el que los recursos se han vuelto cada vez más escasos y con la necesidad urgente y simultánea de dotar de vivienda y energía a cada vez más personas, lo cual demanda a los responsables en la sociedad y la ciencia buscar nuevas alternativas y - aún más importante- materiales renovables. Considerando integralmente el tema, otro elemento importante es usar materiales disponibles en la región para evitar los costos energéticos del transporte intensivo. Sin duda que varias especies de madera son interesantes pero también cáñamo, juncos y tal vez el más importante de todos, el bambú deben ser considerados como materias primas para combustibles, edificios, construcciones y otros artefactos. Muchos de los materiales en cuestión han sido usados tradicionalmente por las poblaciones locales a través del mundo, pero con el moderno estilo de vida, el progreso técnico y también con la globalización, este conocimiento está a punto de desaparecer o ya desapareció. En muchos sitios la gente prefiere aplicar tecnologías modernas sin estar entrenados para ello y cuya aplicación no es apropiada para usar en climas húmedos o regiones sísmicas a un costo mucho mayor que los usos tradicionales.

Nuestra tarea futura no sólo será preservar el conocimiento de cultivar y trabajar estas plantas sino también mejorar las técnicas e inventar nuevas, a fin de coincidir con las necesidades de la vida moderna. La creación de una conciencia ecológica y lograr círculos cerrados de energía no son los factores menos importantes en esta empresa. La investigación de tecnologías sostenibles y métodos de trabajo ofrecen también una manera más abierta de pensamiento - la capacidad para llegar a conclusiones poco comunes, de pensar siempre un paso adelante y poner las cosas en una forma completamente nueva con fantasía e ingenio será la virtud principal en este campo.

Y ¿qué material puede inspirarnos más que el bambú, utilizado por los hombres en casi todos los continentes desde hace miles de años en mayor diversidad que probablemente cualquier otro material en la tierra?

2. FACTS ON BAMBOO

Some argue that the name -bamboo comes from the Hindu Malay, although its origin is uncertain. It is also said that the word bamboo derives from the travelers of the sixteenth century, describing the cane and its use, and inform the vernacular name as Mambu, which then degenerated into bamboo.

There are many legends in which bamboo is the protagonist. Several Asian cultures, including that of the Andaman Islands, believe that humanity emerged from a bamboo stem. In the Philippine creation myth, legend tells that the first man and the first woman each emerged from split bamboo stems on an island created after the battle of the elemental forces (Sky and Ocean). In Malaysian legends a similar story includes a man who dreams of a beautiful woman while sleeping under a bamboo plant; he wakes up and breaks the bamboo stem, discovering the woman inside. The Japanese folktale "Tale of the Bamboo Cutter" (Taketeri Monogatari) tells of a princess from the Moon emerging from a shining bamboo section. Hawaiian bamboo ('ohe) is a kinolau or body form of the Polynesian creator god Kāne.

Bamboo cane is also the weapon of Vietnamese legendary hero Saint Giong- who had grown up immediately and magically since the age of 3 years old because of his national liberating wish against Ân invaders.

An ancient Vietnamese legend (The Hundred-knot Bamboo Tree) tells of a poor, young farmer who fell in love with his landlord's beautiful daughter. The farmer asked the landlord for his daughter's hand in marriage, but the proud landlord would not allow her. The landlord decided to foil the marriage with an impossible deal; the farmer must bring him a "bamboo tree of one-hundred nodes". But Buddha appeared to the farmer and told him that such a tree could be made from one-hundred nodes from several different trees. But gave to him four magic words to attach the many nodes of bamboo: "Khắc nhập, khắc xuất", which means "joined together immediately, fell apart immediately". The triumphant farmer returned to the landlord and demanded his daughter. Curious to see such a long bamboo, the landlord was magically joined to the bamboo when he touched it as the young farmer

2. DATOS DEL BAMBU

Hay quienes sostienen que el nombre bambú pro-viene del indo-malayo aunque no existe certeza de su origen. También se dice que la palabra bambú deriva de los viajeros del siglo XVI, que describen la caña y su uso, e informan el nombre vernáculo como Mambu, que mutó a bambú.

Existen numerosas leyendas donde el bambú es el protagonista. Varias culturas de Asia, incluida la de las Islas Andamán, creen que la humanidad surgió de una caña de bambú. En el mito de la creación de Filipinas, la leyenda dice que el primer hombre y la primera mujer salieron de un bambú rajado en una isla creada después de la batalla de las fuerzas elementales (el cielo y el mar). Las leyendas de Malasia incluyen una historia similar de un hombre que sueña con una hermosa mujer mientras dormía en una planta de bambú, se despierta y rompe el tallo de bambú, descubriendo en su interior a una mujer. El cuento tradicional japonés "Cuento del cortador de bambú" (Taketeri Monogatari) narra de una princesa de la Luna saliendo de una sección de bambú brillante. El bambú en Hawai (OHE) es una forma o cuerpo de Kane dios creador de la Polinesia.

La caña de bambú es también el arma del le-gendario héroe vietnamita San Giong, que había crecido de inmediato y por arte de magia desde la edad de 3 años a causa de su deseo de liberación nacional contra los invasores Ân.

Una antigua leyenda vietnamita (El Árbol de los Cien Nudos de Bambú) cuenta de un campesino pobre, joven que se enamoró de la bella hija de su casero. El granjero le pidió al propietario la mano de su hija en matrimonio, pero el dueño orgulloso no lo consentía. El propietario decidió frustrar el matrimonio con un acuerdo imposible, el agricultor debía traerle un "árbol de bambú de cien nodos". Sin embargo, Buda se apareció al agricultor y le dijo que un árbol puede hacer desde uno hasta cien nodos de diferentes árboles. Sin embargo, le dió cuatro palabras mágicas para conectar los nodos de muchos bambús: "Khac nhập, Khac xuất", que significa "unir de inmediato, separar de inmediato". El agricultor regresó triunfante donde el propietario y le exigió a su hija. Curioso de ver un bambú tan largo, el arrendador quedó pegado al bambú al tocarlo cuando el joven granjero dijo las

said the first two magic words. The story ends with the happy marriage of the farmer and the landlord's daughter after the landlord agreed to the marriage and asked to be separated from the bamboo.

Bamboo was in widespread use in early China as a medium for written documents. The earliest surviving examples of such documents, written in ink on string-bound bundles of bamboo strips, date from the 5th c. BC during the Warring States period. However, references in earlier texts surviving on other media make it clear that some precursor of these Warring States period bamboo slips was in use as early as the late Shang period (from about 1250 BC).

Bamboo or wooden strips were the standard writing material during the Han dynasty. Subsequently, paper began to displace bamboo and wooden strips from mainstream uses, and by the 4th c. AD bamboo had been largely abandoned as a medium for writing in China. Several paper industries are surviving on Bamboo forests. Ballarpur (Chandrapur, Maharashtra) paper mills uses bamboo for paper production.

Each stalk, or culm, grows to its full girth (the biggest, over 2 feet in diameter) and full height (up to 120 feet) in just six weeks. For erosion control is unparalleled, is also used as noise barriers, for wind breaks, for screen.

Early in each culm's life, the cells are composed mostly of water and a sugary starch. These transform themselves to lignin and cellulose, and are stronger and lighter in strength-to-weight ratios than graphite. A vegetable steel, bamboo's engineering standards are documented and proven.

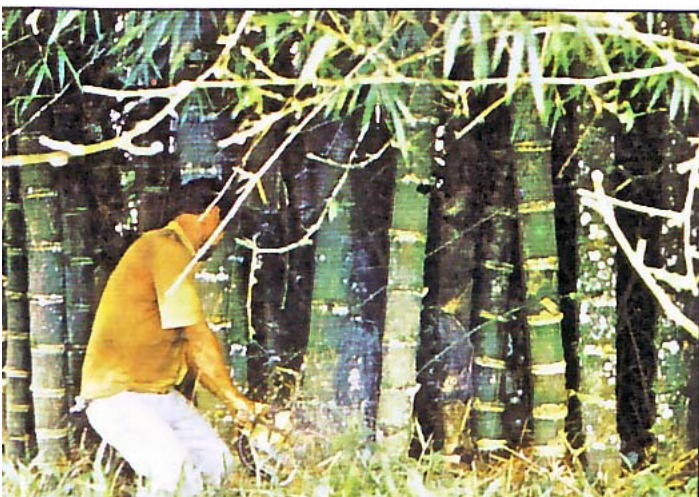
primeras dos palabras mágicas. La historia termina en feliz boda después de que el propietario aceptó y pidió ser separado del bambú.

El Bambú fue de uso generalizado en la antigua China como un medio para documentos escritos. Los primeros vestigios de dichos documentos, escritos con tinta en paquetes de tiras de bambú atadas, datan a partir del siglo V. AC durante el período de los Reinos Combatientes. Sin embargo, las referencias en textos anteriores que sobreviven con otros medios de comunicación dejan en claro que un precursor de estas hojas ya estaba en uso en el período posterior de Shang (alrededor del 1250 AC).

Los listones de bambú o de madera fueron el material de escritura estándar, durante la dinastía Han. Posteriormente, el papel comenzó a desplazarlos y la madera de uso corriente, y hacia el siglo IV AD el bambú había sido abandonado en gran medida como un medio para la escritura en China. Varias industrias de papel sobreviven de los bosques de bambú. En Ballarpur (Chandrapur, Maharashtra) las fábricas de papel utilizan el bambú para la producción de papel.

Cada tallo o caña, crece a su diámetro completo (la más grande, más de 60 cms de diámetro) y altura (hasta 3.60 metros) en tan sólo seis semanas. Para el control de la erosión es incomparable, también se utiliza como barreras contra el ruido, como rompevientos, como pantalla.

Muy temprano en la vida de las cañas, las células se componen principalmente de agua y almidón azucarado. Estos se transforman en lignina y celulosa, y son más fuertes y más ligeros en relación fuerza-peso que el grafito. Un acero vegetal, los estándares de ingeniería del bambú están documentados y probados.





Bamboo is not, as it might seem to many people, a tree - it's a giant grass. Botanically it belongs to the family *graminea* that has provided mankind with further useful plants like corn, wheat, sugar cane or barley. Its biological classification is *bambusae*. As a systematic sub-family of the gramineae the bambusae are divided into 5 sub-tribes (Hutchinson): *Dendrocalaminae*, *Melocanninae*, *Bambusinae*, *Arundinaeiinae*, *Puellinae*.

According to Hidalgo bamboo hasn't been catalogued to a satisfactory extent due to its rare flowering, which is the most important criterion in classification. The flowering process of the bamboo is as phenomenal as the rate of growth of the cane. Biologists set the number of bamboo genders between 13 and 47 and the number of species between 550 and 1250, but various genders and species have been classified differently by different scientists. The species vary in size between the pygmy bamboos, that form understories of tropical forests, and giant bamboos in Asia and Southern America like *bambusa*



El bambú no es, como lo cree mucha gente, un árbol - es un pasto gigante. Botánicamente pertenece a la familia gramínea la cual ha provisto a la humanidad con otras plantas útiles como el maíz, trigo, azúcar o cebada. Su clasificación biológica es *bambusae*. Como una subdivisión sistemática la gramínea bambusae se subdivide en 5 sub familias (Hutchinson): *Dendrocalaminae*, *Melocanninae*, *Bambusinae*, *Arundinaeiinae*, *Puellinae*.

Según Hidalgo, el bambú no ha sido catalogado en toda su extensión debido a su extraña floración, la cual es el criterio más importante para clasificar. El proceso de floración es tan fenomenal como el promedio de crecimiento de la caña. Los biólogos establecen la cantidad de géneros de bambú entre 13 y 47 y el número de especies entre 550 y 1250, pero varios géneros y especies han sido clasificados diferentemente por diferentes científicos. Las especies varían en tamaño entre pigmeas, que forman los estratos bajos del bosque tropical, y bambús gigantes en Asia y Sur América como la *bambusa arubdinacea* o *gadua angustifolia* con alturas de hasta 30 metros y diámetros de 17 cms, aunque la mayoría de las especies se encuentran en algún lugar en el centro.

Las cañas de todas las especies crecen en forma de cilindro, pero cónico y se seccionan por los nodos. Así como los entrenudos son huecos, los nodos son placas masivas en el medio. Esta estructura garantiza una gran estabilidad, mientras que el peso es sorprendentemente bajo.

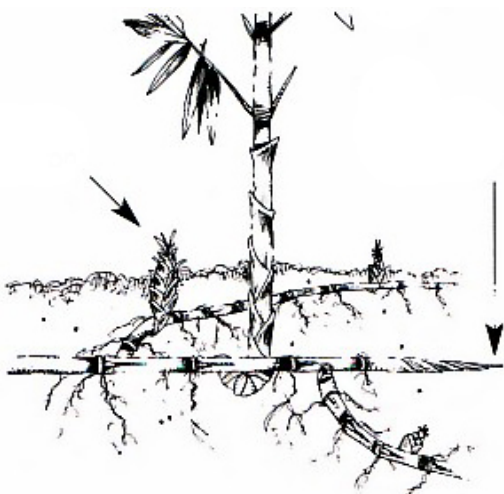
Los bambús tienen un sistema radicular especial llama-

arubdinacea or *guadua angustifolia* with heights of up to 30 m and diameters up to 17 cm, though most species are somewhere in-between.

The culms of all species grow in a cylinder-shaped but tapered form and are sectioned by nodes. While the internodes are hollow, the nodes are massive plates in-between. This structure guarantees a great stability while the weight is surprisingly low.

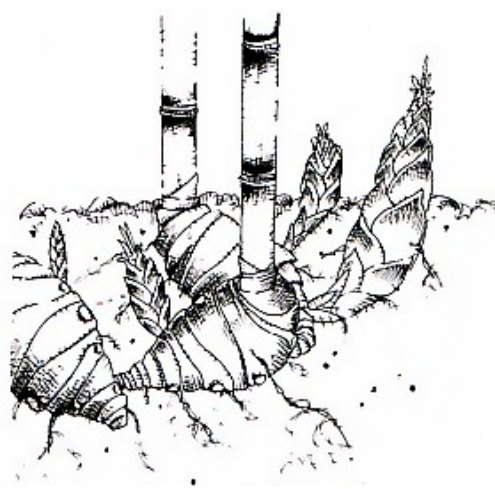
Bamboos have a special root system called rhizome. According to the kind of rhizome bamboo can be sympodial or monopodial. Sympodial Bamboos are clumping, frost-sensitive tropical species. The rhizome is thick and short, with asymmetrical internodes more broad than long. Side buds give rise to further rhizomes, with culms growing from the ends in tight or fairly open culms. Monopodial, free-standing bamboos are hardy to a few degrees below 0°F. The lengthy rhizomes are segmented like the culms above them, with symmetrical internodes more long than broad. The culms are growing from side buds at alternate nodes of the rhizomes.”¹ As bamboo is flowering very seldom - mostly in intervals of about 30 years, the rhizome serves also for the reproduction through partition. Bamboos grow to their full size in their first year, apparently dependent on the grade of humidity available. In the following years they maintain size and only mature, will say the culms harden and gain stability, reaching full maturity in 3 to 6 years.

mado rizoma. De acuerdo al tipo de rizoma el bambú puede ser Simpodial o Monopodial. El bambú Simpodial se aglutina, las especies tropicales son sensibles a las heladas. El rizoma es grueso y corto, con entrenudos asimétricos más anchos que largos. Brotes laterales dan lugar a más rizomas, con tallos de crecimiento en los extremos de los tallos apretados o muy abierto. Los bambús Monopodiales, son resistentes a unos pocos grados por debajo de 0 ° F. Los rizomas largos se dividen en segmentos como los tallos por encima de ellos, con internudos simétricos más largos que anchos. Las cañas crecen de brotes laterales en los nodos alternativos de los rizomas.”¹ Como el bambú florece rara vez, la mayoría en intervalos de 30 años, el rizoma sirve para la reproducción por partición. Crecen hasta su tamaño total en el primer año, aparentemente dependiendo del grado de humedad disponible. En los años siguientes mantienen su tamaño pero maduran, es decir las cañas se endurecen y ganan estabilidad, alcanzando la madurez entre 3 a 6 años.



Monopodial rhizome / Rizoma Monopodial.

Bamboos, Simon Crouzet, Olivier Colin, Ulmer, 2002, Francia, pág. 7.



Sympodial Rhizome / Rizoma Simpodial

¹ Farrelly: The Book of Bamboo, p. 137.

2.1. GEOGRAPHY

The old world bamboos grow from a latitude of 32° south (South Africa) to 46° north (Kurile Islands) and in the new world from 47° south up to 40° north. The main area of distribution are the tropics.

Native bamboos populate all continents except Europe, with their largest spread in the tropics. Bamboo endures temperature ranges from -4°F to 116°F and rainfall extremes from 30 to 250 inches per year. At home from sea level to 12,000 feet in altitude, it ranges between latitudes of 46°N and 47°S. Also bamboos are found at extremes, they occur most abundantly at low to middle elevations and, with the notable exception of Japan's 662 species, flourish most at equatorial latitudes. Australia has only 3 native bamboos, the United States, 2 and Russia, 1 - while some 113 species are found in India. Africa is curiously poor in bamboos, having only 3 genera while the neighbouring Madagascar [has] some 30 species and 8 genera. Tropical America, from Mexico to Brazil, is more blessed with bamboos than any other piece of the planet with the exception of Southeast Asia."²

2.2 HISTORY

Though there haven't been detected any bamboo-fossils up to now, it can be assumed, that bamboo belongs together with other grasses to the oldest plants on earth. Bamboo was around, when the first humans appeared, and from there on it has been supplying us with material for the most diverse purposes. Maybe the first mention in literature is by the Persian writer Ctesias dating from 400 BC. He tells us that the canes of India are big enough to be used as boats, which must mean a diameter of at least 40 cm. Marco Polo as the first European who saw bamboo reports similar observations. The word bamboo derives from 16th century travelers, who described the cane and its use, and report the vernacular name as mambu, which later degenerated to bamboo. The close relation between man, bamboo and culture - especially in Asia - is documented by numerous Japanese and Chinese drawings and by the fact, that one of the first and most important Chinese ideograms has its origin in a bamboo drawing.² Nevertheless only few researchers into the question of early dwellings fail to mention the possible existence of rod roofs.

2 . Hidalgo: Bambú, p. 5

2.1. GEOGRAFÍA

Los bambús del antiguo mundo crecieron desde la latitud 32° Sur (South Africa) a 46° Norte (Kurile Islands) y en el mundo moderno desde 47° latitud Sur hasta 40° Norte. El área principal de distribución es el trópico.

Los bambús nativos poblaron todos los continentes excepto Europa, con grandes extensiones en el trópico. El bambú soporta temperaturas entre 8.8° C y 36° C y precipitaciones extremas entre 100 mm a 700 mm por año. Desde el nivel del mar hasta 400 metros de altitud, entre las latitudes 46°N y 47°S. También los bambúes se encuentran en los extremos, con mayor abundancia en elevaciones de baja a medias y, con la notable excepción de Japón de 662 especies, la mayoría prosperan en las latitudes ecuatoriales. Australia sólo tiene 3 bambúes nativos, los Estados Unidos 2 y Rusia, 1 -, mientras que alrededor de 113 especies se encuentran en la India. África es curiosamente pobre en bambú, con sólo tres géneros mientras que la vecina Madagascar unas 30 especies y 8 géneros. América tropical, desde México hasta Brasil, es más bendecido con bambúes que cualquier otra parte del planeta, con la excepción del sudeste de Asia."²

2.2 HISTORIA

Aunque no se ha detectado ningún fósil de bambú, hasta ahora, se puede suponer, que el bambú pertenece con otras hierbas a las plantas más antiguas sobre la tierra. El bambú estaba cerca, cuando los primeros humanos aparecieron, y a partir de ahí se nos ha estado suministrando el material para los fines más diversos. Tal vez la primera mención en literatura es de Ctesias escritor persa, que data del 400 AC quien narra que las cañas de la India son lo suficientemente grandes como para ser utilizadas como barcos, lo que debe significar un diámetro de al menos 40 cm. Marco Polo, el primer europeo que vió los informes del bambú hace observaciones similares. La estrecha relación entre el hombre, el bambú y la cultura - en especial en Asia - está documentado por numerosos dibujos japoneses y chinos y por el hecho de que uno de los primeros y más importantes ideogramas chinos tiene su origen en un dibujo de bambú. Sin embargo, sólo unos pocos investigadores de las viviendas primitivas dejan de mencionar la posible existencia de techos de caña.

Also in more recent times entire cultures based on bamboo evolved, with the colonization of Antioquia, Colombia maybe as the most striking example. With modernity, the decline of bamboo's use and reputation began, and nowadays it has to fight its stigmatization as the poor man's wood. Today this is changing and there are more young professionals experiencing contemporary ideas with this ancient and vegetal material.

Unlike other structures (stone, earth, wood), only few findings have been made of early buildings constructed with vegetal material because it decomposes and disappears. There are not historical data available.

History also shows that when a building form is the result of an efficient structure, it is replicated and repeated over centuries and over the geographical space. One example is the conic hut which can be found all around the world and constructed with different materials. Among this, bamboo has played a mayor role. During centuries of use, a very strong tradition of bamboo structures has been employed to solve a variety of building. As an irony of history, exactly the main qualities of bamboo - fast growth, abundant availability, processing with simple methods - contributed to this decline. Now propagating bamboo is a process of re-conscious-making.

The use of modern building materials has caused that bamboo loses the significance that once had as a building material and has been replaced by others such as steel. Even some structures and forms typical of bamboo buildings, have been reproduced in other construction materials that are not the best one.

The fact that bamboo buildings does not contribute to a status symbol and the short life of the material are important reasons that has caused the reduction of bamboo use.

Both reasons can be overcome and the universal trend towards the urgency of using renewable materials, will change this belief. Indeed, each day there are more modern architects that apply the use of bamboo in contemporary works and with great category. Until recent years, bamboo was used as a structure instead of steel, but in very few chosen cases as the Colombian architect Simon Velez, has worked the material to a

En tiempos recientes, las culturas basadas en el bambú evolucionaron, siendo la colonización de Antioquia, Colombia el ejemplo más llamativo. Con la modernidad, comenzó la disminución del uso del bambú, y su reputación como la madera de los pobres. Hoy en día tiene que luchar contra esta estigmatización. Actualmente esta situación está cambiando y hay más profesionales jóvenes experimentando ideas contemporáneas con este material milenario y vegetal.

Al contrario de otras estructuras (piedra, tierra, madera), se han encontrado sólo unos pocos vestigios de edificios construidos con material vegetal, porque se descompone y desaparece. No existen datos históricos disponibles.

La historia ha demostrado que cuando una forma construida es el resultado de una estructura eficiente, se replica y repite por siglos y en un amplio espacio geográfico. Un ejemplo de esto es el refugio cónico, el cual se puede encontrar en todo el mundo y construidos de diferentes materiales. Entre ellos, el bambú ha jugado un papel preponderante. Durante siglos de uso, se ha desarrollado una tradición de estructuras de bambú, para resolver una variedad de edificios. Como ironía de la historia, las mismas cualidades del bambú: crecimiento rápido, disponibilidad abundante, procesamiento con métodos simples - contribuyeron a este descenso. Ahora la propagación del bambú es un proceso de concientizar las decisiones.

El uso de materiales de construcción modernos ha provocado que el bambú pierda la importancia que alguna vez tuvo como material de construcción y ha sido reemplazado por otros como el acero. Incluso algunas estructuras y formas típicas de los edificios de bambú, han sido reproducidas en otros materiales de construcción que no son las mejores. Dos razones que han causado la reducción del uso del bambú son: que los edificios en bambú no son representativos de status y que el material es de relativa corta vida.

Ambas razones son subsanables y la tendencia universal hacia la urgencia de utilizar materiales renovables, cambiará esta creencia. En efecto, cada día son más los arquitectos modernos que aplican la utilización del bambú en obras contemporáneas y con gran categoría. Hasta hace pocos años, el bambú se aplicaba como estructura en lugar del acero, pero en pocos casos muy



Left: Indonesian family sitting on a bamboo deck/ familia sentada en deck de bambú, Batavia, Indonesia, 1825.

higher levels, applying small changes in the traditional technology, such as the use of certain bolts on the boards.

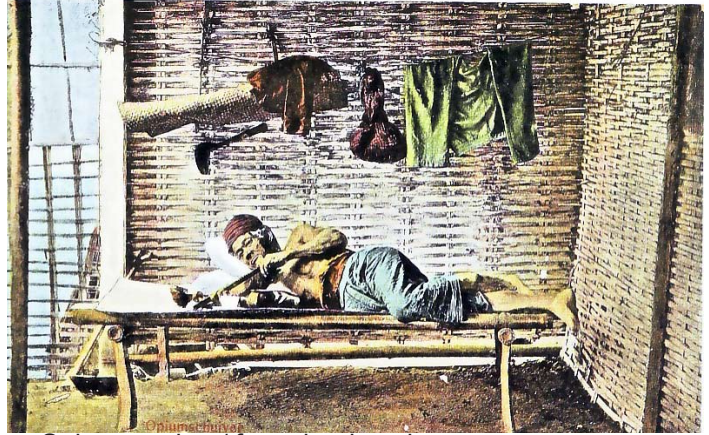
Simón Vélez is an acknowledged pioneer in the modern use of bamboo in architecture. In collaboration with his workers and his best friend, Marcelo Villegas, he developed the mortar-filled joinery system that allows the long-span, lyrical structures on this page to be built. Guadua (*Bambusa guadua angustifolia*) is the most visibly dominant bamboo in the Caldas region of Colombia. It has been used in architecture since the 1920's, and has been reinvigorated by the design talents of architect Simón Vélez and artisan Marcelo Villegas.

Bamboo is featured in an article on the Charleston Daily Mail newspaper of Charleston, WV. Titled "Bamboo, dubbed 'vegetal steel,' superb for building" with a subtitle "Forget steel and concrete. The building material of choice for the 21st century might just be bamboo", the article highlights the unique characteristics of bamboo and highlights the pioneer work of Colombian architect Simon Velez.

In the picture on the right, Colombian architect Simon Velez stands beneath a dome he is building from bamboo that will be the future site of a supermarket in Girardot, Colombia. The Colombian Architect creates the largest bamboo structure ever built.

En la imagen de la derecha, el arquitecto colombiano Simón Vélez se encuentra debajo de una cúpula que está construyendo a partir de bambú, que será la futura sede de un supermercado en Girardot, Colombia. El arquitecto colombiano creó la mayor estructura existente en bambú.

es.wikipedia.org/wiki/Simón_Vélez



Opium smoker / fumador de opio.

escogidos, como el del arquitecto colombiano Simón Vélez, se ha trabajado el material a un nivel superior, aplicando pequeños cambios en las técnicas tradicionales, como el uso de juntas en los paneles.

Simón Vélez es un pionero reconocido en el uso moderno del bambú en la arquitectura. En colaboración con sus trabajadores y su mejor amigo, Marcelo Villegas, desarrolló el sistema de juntas rellenas de mortero que permiten grandes luces, las estructuras líricas en para ser construidas. Guadua (*Bambusa guadua angustifolia*) es el bambú más visiblemente dominante en la región de Caldas de Colombia. Se ha utilizado en la arquitectura desde la década de 1920, y se ha reforzado con los talentos del diseño del arquitecto Simón Vélez y el artesano Marcelo Villegas.

El bambú está publicado en un artículo en el periódico Correo de Charleston Daily Charleston, Virginia Occidental. Bajo el título "El bambú, conocido como" acero vegetal ", excelente para la construcción" con un subtítulo "Olvídate de acero y hormigón. El material de construcción de elección para el siglo 21 podría ser el bambú ", el artículo destaca las características únicas del bambú y destaca el trabajo pionero del arquitecto colombiano Simón Vélez.



3. APLICATIONS

Because of the huge variety of bamboo applications it is impossible to name all of them. Several authors have tried to summarize 1000 different things from bamboo, but still this doesn't cover all possible uses.

As a sprout at the age of 10 to 15 days, it provides food, while the mature bamboo of about 5 years is an excellent construction material, as well in using whole culms as split material. It can be used as a column taking up compression forces, but ropes out of bamboo are marvelous tension cables.

It supplies us with raw material for the paper production and for textiles. It is suitable for music instruments as well as for weapons. And of course it can be used for furniture and toys. It contains several chemicals employed in pharmacy and medicine, for example in curing asthma.

T.A. Edison used filaments of bamboo in his newly invented light bulbs. Due to its tubular structure it can be used for pipes but also for everything that is made of tubular steel or aluminium, like scaffolding or even bicycles. It was even used as a material for experimental lightweight planes. Seemingly it is only human fantasy that can put a limit to the use of bamboo, but the uses of bamboo surely could exceed the limits of this paper.

PROPERTIES RELEVANT FOR CONSTRUCTION

As bamboo is mostly spread in the tropics, its properties are related to conditions there. Of course the tropical climate encourages the quick growth of bamboo, that can be up to more than one meter in 24 hours - the largest growth was reported by K. Ueda in Japan 1955 and was 1.21 m in 24 hours³. But on the other hand the same humid climate affects the bamboo once cut and makes it a target to destructive insects like the powder post beetle and termites as well as to rot fungus. This results in most constructive structures made from bamboo only lasting a period of about two years. The exception from the rule seems to be *Guadua angustifolia* which is reported to be very resistant against insects and diseases, so that structures made

3. APLICACIONES

Considerando las múltiples variedades de aplicaciones del bambú es imposible nombrarlas todas. Ciertos autores trataron de resumir 1.000 cosas diferentes de bambú, pero esto no cubre todos los usos posibles.

Un brote a la edad de 10 a 15 días, proporciona alimentos, mientras que el bambú maduro de unos 5 años es un excelente material de construcción, así como el uso de cañas como material de separación. Se puede utilizar como una columna con fuerzas de compresión, pero las cuerdas de bambú son maravillosos cables de tensión. Nos provee de materia prima para la producción de papel y de textiles. Es adecuado para los instrumentos de música, así como para las armas. Se puede utilizar para muebles y juguetes. Contiene varias sustancias químicas empleadas en farmacia y medicina, por ejemplo en la cura del asma.

T. A. Edison utilizó filamentos de bambú en la invención del bombillo. Debido a su estructura tubular puede ser utilizado para tuberías, y para todo lo que está hecho de acero tubular o de aluminio, como andamios o incluso bicicletas. Fue utilizado como material de experimentación en aviones ligeros. Aparentemente es sólo la fantasía humana la que puede poner un límite a la utilización del bambú, pero los usos del bambú sin duda podrían superar los límites de este trabajo.

PROPIEDADES RELEVANTES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Como el bambú se propaga principalmente en los trópicos, sus propiedades están relacionadas con las condiciones de allí. El clima tropical favorece el crecimiento rápido del bambú, que puede ser de hasta más de un metro en 24 horas - el mayor crecimiento fue reportado por K. Ueda en Japón 1955 y fue de 1,21 m. en 24 horas. Pero por otro lado el clima húmedo afecta al bambú una vez cortado y lo convierte en un objetivo para los insectos destructivos como el escarabajo y las termitas, así como del hongo de la pudrición. Esto se traduce en que la mayoría de las estructuras constructivas de bambú sólo duran un período de uno o dos años. La excepción a la regla parece ser la *Guadua angustifolia* que se informó ser muy resistente a insectos y enfermedades, por lo que las estructuras hechas de este tipo de bambú pueden durar hasta 60 años. Las propiedades mecánicas del bambú siguen siendo objeto de investi-

3. Hidalgo: Bambu, p. XVI

from this kind of bamboo can last up to 60 years. The mechanical properties of bamboo are still subject to scientific researches, but as there are no global standards in testing methods, the results vary and are still far from being reliable. Furthermore the properties vary according to moisture content, age of the culm at cutting time, harvesting methods and of course species.

Due to its composition of fibers, bamboo can receive forces that are surprisingly high. "The modulus of elasticity of mature air-dried culms ranged from 125,000 to 195,000 kg/cm² with an average value of about 160,000 kg/cm². One kiln-dried species reached the value of 225,000 kg/cm². Green culms generally fell below 100,000 kg/cm²."

Tensile tests on *Phyllostachys bambusoides* produced the amazing strength parallel to the grain of 2,629 kg/cm². This compares very favourably with the allowable tensile stress on ASTM A 36 structural steel of 1,375 kg/cm². This high tensile strength cannot be used to full advantage, since bamboo would fail in shear long before its full tensile strength was developed. It is, therefore, advisable to take the modulus of rupture to represent the tensile strength for design purposes. The modulus of rupture of bamboo varies from 900 to 1,700 kg/cm² with an average of 1,300 kg/cm². The compressive strength parallel to grain ranges from 315 to 725 kg/cm² or an average of 520 kg/cm².⁴

In general, the strength of bamboo increases with its age, reaching the highest extent at about five years, as well as the strength is increasing in the drying process. Bamboo is subject to shrinking in the drying process with shrinkage between 3 and 12 % in diameter, 4 and 16 % in wall thickness and only about 0.1 % along the culm. Immature culms shrink more than mature ones and the shrinkage can cause cracking and collapsing in immature culms.

If bamboo is also subject to swelling, when, once dried, humidity increases, is not mentioned in literature. The tubular structure intersected by the cross walls of the nodes "prevents buckling and collapse. The disposition of the nodes is significant in the bending strength but not in its crushing strength."⁵

gaciones científicas, pero como no hay normas mundiales en los métodos de prueba, los resultados pueden variar y están todavía lejos de ser confiables. Además, las propiedades varían de acuerdo con el contenido de humedad, la edad de la caña en el tiempo de corte, los métodos de cosecha y de las especies.

Debido a su composición de fibras, el bambú puede recibir fuerzas que son sorprendentemente altas. "El módulo de elasticidad de los tallos maduros secos al aire varió de 125.000 a 195.000 kg/cm² con un valor promedio de alrededor de 160.000 kg/cm². En secado al horno las especies alcanzaron el valor de 225.000 kg/cm². Los tallos verdes en general, estuvieron por debajo de 100.000 kg/cm²."

Los ensayos de tracción en *Phyllostachys bambusoides* produjo la increíble fuerza paralela al grano de 2.629 kg/cm². Esto se compara muy favorablemente con el esfuerzo de tensión admisible en acero estructural ASTM A 36 de 1.375 kg/cm². Esta alta resistencia a la tracción no se puede aprovechar al máximo, ya que el bambú podría fallar en el corte mucho antes que su resistencia a la tracción total se ha desarrollado. Es, por tanto, aconsejable para fines de diseño tomar el módulo de ruptura para representar a la resistencia a la tracción. El módulo de rotura del bambú varía de 900 a 1.700 kg/cm², con una media de 1.300 kg/cm². La resistencia a la compresión paralela al grano varía desde 315 hasta 725 kg/cm² o un promedio de 520 kg/cm².⁴

En general, la fuerza del bambú aumenta con la edad, alcanzando el más alto grado en unos cinco años, así como la fuerza es cada vez mayor en el proceso de secado. El bambú es objeto de reducción en el proceso de secado con una contracción entre el 3 y el 12% de diámetro, 4 y 16% en el espesor de la pared y sólo el 0,1% a lo largo del tallo. Tallos inmaduros encogen más que los maduros y la contracción puede causar grietas y el colapso en las cañas inmaduras. Si el bambú también está sujeto a la hinchazón, cuando una vez seco aumenta la humedad, no se menciona en la literatura. La estructura tubular cruzada por las paredes transversales de los nodos "impide la deformación y hundimiento. La disposición de los nodos es importante en la resistencia a la flexión pero no en su resistencia a la compresión."⁵

En cuanto a la tensión en el límite elástico, la parte

4. UN: The use of bamboo and reeds in building construction, p. 13.

5. UN: The Use Of Bamboo And Reeds In Building Construction, p. 13.



Regarding stress at the elastic limit, the lower part of a culm is stronger than the upper part as well as the strength of the wall declines from outside towards inside. Due to its fiber-structure, bamboo is prone to splitting, especially near cut ends, and also to shearing. Like wood, bamboo is composed of lignin and cellulose, but it lacks the chemical active substances many kinds of wood possess.

WAYS TO MODIFY AND IMPROVE PROPERTIES

Improving bamboo properties begins already in the plantation. Selecting of more resistant species and cultivating of new ones are ways to obtain a material more suitable to construction purposes and to take up the challenges of climate, insects and rotting. During the growth period bamboo is quite undemanding - it's enough to take out fallen or broken culms to give the other ones the possibility to grow straight upwards.

Johan van Lengen reports a method of altering the shape of bamboo culms by attaching boards when they are still small in his "Manual del Arquitecto Descalzo". This way quadrangular or triangular culms can be obtained.⁶

Another important way to influence the quality of bamboo consists in choosing the right cutting time: it should only be cut after reaching its full maturity - according to species after 3 to 6 years - and in the dry period of the year.

Immediately after cutting bamboo should be subject to preparation in order to prevent invasion of insects and fungi. The traditional methods are leaving the bamboo with all leaves vertically standing in the air for some 6 weeks or submerging it without leaves in running water for about 4 weeks in order to wash out the substances nutritive for pests.

The more modern methods include spraying with and dipping into pesticide solution, diesel, kerosene or a mixture out of these. This, however, is only recommended for split bamboo, as in whole culms the solution doesn't penetrate into the internode chambers and leaves them unprotected. More effective in this respect is soaking the culms in the solution for up to five weeks. Other methods are the boucherie process, a procedure where the sap of the

inferior de una caña es más fuerte que la parte superior, así como la fuerza de la disminución de la pared de afuera hacia adentro. Debido a su estructura de fibra, el bambú es propenso a la división, sobre todo cerca de los extremos cortados, y también al corte. Como la madera, el bambú se compone de lignina y celulosa, pero carece de las sustancias químicas activas que poseen muchos tipos de madera.

MANERAS DE MODIFICAR Y MEJORAR LAS PROPIEDADES

Mejorar las propiedades del bambú comienza en la plantación. Seleccionar las especies más resistentes y el cultivo de nuevas formas de obtener un material más adecuado para la construcción y para afrontar los desafíos del clima, los insectos y la podredumbre. Durante el período de crecimiento el bambú es muy poco exigente - es suficiente sacar los tallos caídos o rotos para dar a los demás la posibilidad de crecer hacia arriba directamente.

Johan van Lengen en su "Manual del Arquitecto Descalzo" informa de un método de alterar la forma de las cañas de bambú uniéndolas, cuando aún son pequeñas. De esta manera las cañas se pueden obtener cuadrangulares o triangulares.⁶

Otra forma importante de influir en la calidad del bambú consiste en elegir el tiempo de corte correcto: sólo se deben cortar después de alcanzar su plena madurez - de acuerdo a las especies después de 3 a 6 años - y en el período seco del año.

Inmediatamente después de cortar el bambú debe ser sometido a procesos de prevención con el fin de evitar la invasión de insectos y hongos. Los métodos tradicionales consisten en dejar el bambú con todas las hojas verticalmente de pie al aire alrededor de 6 semanas o sumergirlo sin hojas en agua corriente durante unas 4 semanas con el fin de lavar las sustancias nutritivas para las plagas. Los métodos más modernos incluyen rociar y sumergir en una solución de plaguicidas, diesel, queroseno o una mezcla de estos. Esto, sin embargo, sólo se recomienda para bambú rajado (partido), dado que en las cañas la solución no penetra en las cámaras de los entrenudos y los deja sin protección. Más eficaz en este sentido es remojar las cañas en la solución por un máximo de cinco semanas. Otros métodos son el proceso de boucherie, un procedimiento donde la savia de los tallos se susti-

6. Van Lengen: Manual del Arquitecto descalzo, p. 144



culms is replaced by the respective solution through gravity or pressure, or the stepping method, where the freshly cut culms with leaves are left standing in the preservative solution up to 60 cm for about 10 days, which also results in a sap replacement.

As already mentioned, the above described methods are only suited for the freshly cut bamboo. After the application of these methods bamboo has to be dried. If the culms are already partly or totally dry, more complicated methods like pressure treatment or the hot-and-cold-bath-process have to be used. There is also a potential of improving bamboo's qualities in choosing the adequate drying process. Mostly air-drying is used. The culms are stored horizontally in stacks with suited distance between them for about eight weeks. Using hot air can reduce drying time.

Another drying method still underestimated is the smoke drying of raw bamboo. According to Takaya Nomura, "smoke drying prevents bamboo culms from splitting through stress and moisture conditioning (and) due to adhesion of soot and other pyrolytic chemical components on the surface of the culm, bamboo is protected from getting moldy and biologically deteriorated."⁷

tuye por la solución respectiva a través de la gravedad o presión, o el método de salto, donde los tallos recién cortados con hojas se dejan en pie en la solución de conservación de hasta 60 cm alrededor de 10 días, que también da lugar a una sustitución de la savia.

Como ya se mencionó, los métodos descritos anteriormente sólo son adecuados para el bambú recién cortado. Después de la aplicación de estos métodos el bambú tiene que ser secado. Si los tallos ya están parcial o totalmente secos, los métodos más complicados como el tratamiento de la presión o el proceso de baño de calor y frío tienen que ser utilizados. También hay un potencial de mejorar las cualidades del bambú en la elección del proceso de secado adecuado. Sobre todo se utiliza el secado del aire. Las cañas se almacenan horizontalmente en las pilas con la distancia adecuada entre ellas por cerca de ocho semanas. El uso de aire caliente puede reducir el tiempo de secado.

Otro método de secado aún subestimado es el secado al humo del bambú en bruto. De acuerdo con Takaya Nomura, "el secado al humo impide que las cañas de bambú se dividan a través de la tensión y la humedad del aire (y) debido a la adhesión de los componentes químicos de hollín y otros pirolíticos en la superficie de la caña, el bambú es protegido contra el moho y el deterioro biológico."⁷

Bajo la influencia del fuego, el bambú se puede doblar y guardar con nueva forma después de enfriarse. El bambú debe ser impregnado con productos químicos pirorresistentes como se aplican en la madera. Una manera de proteger el bambú del deterioro por la influencia del clima y las plagas, es la aplicación de los medios de los dispositivos constructivos como se conoce para la madera.

Es útil elevar la parte inferior de una columna o una cubierta de bambú en 30 cm sobre el suelo con el fin de evitar el contacto con el agua o cortar los tallos lo más cercano posible a un nodo para que no haya espacio para la invasión de los animales. Al cubrir con acabados de barniz y otras aplicaciones conocidas de la madera, el bambú puede ser protegido contra los insectos y la humedad baja, pero esto sólo es adecuado para uso en interiores, porque la superficie densa del bambú no permite que el líquido penetre muy bien.

7. Abstracts, p. 67

Under the influence of fire, bamboo can be bent and will keep the new shape after cooling down. Bamboo should be impregnated with fire-resisting chemicals as applied on wood. A way to protect bamboo from the deteriorating influence of climate and pests, is applying the means of constructive devices as known from wood.

Surely it would be useful elevating the butt part of a column or a bamboo covering 30 cm above ground in order to avoid contact with spray water or cut the culms the nearest possible to a node so that there won't be space for the invasion of animals. By covering with lacquer or other finishings known from application on wood, bamboo can be protected against insects and low humidity, but this is only suited for indoor use, as the dense surface of bamboo doesn't let the liquids penetrate very well.

Bamboo's tendency to split and crack can also be dealt with placing the cut near the node, and if applying nails, clamps or bolts in drilling a respective hole beforehand.

CULTIVATION CULM CUTTING TECHNIQUES

Remove one year old culm from the matured mother clump at 5–10 years growth stage, care should be taken to remove the culm without damaging the culm as well as mother clump. The removed culm should be delimbed carefully by leaving growing buds in the nodes. Then, the culm should be placed in the raised nursery bed and covered with loose soil and sand mixture for half inch thickness. After providing adequate shade to the culms in the nursery bed with coconut sheaths or rice straw, watering should be done to field capacity. Watering twice a day should be continued and shoot emergence will be observed after one month from all buds present in all nodes of the entire culm. Continue watering up to three months. The root emergence could be observed in 2–3 months. After rooting, the rooted culm should be removed entirely from the soil without any damage. To facilitate uprooting the rooted culms without damage, watering should be done. Each rooted node with shoots should be separated with small hand saw. The separated cutting can be transferred to poly bag.

Harvesting Bamboo used for construction purposes must be harvested when the culms reach their great-

La tendencia del bambú para dividirse y romperse también puede ser tratada con la colocación del corte cerca del nodo, y la aplicación de clavos, grapas o negritas en la perforación de un agujero correspondiente realizado de antemano.

CULTIVO Y TÉCNICAS DE CORTE

Al quitar una caña de 1 año de edad de la mata madre madura en la etapa de crecimiento de 5-10 años, se debe tener cuidado al quitar el tallo no dañar la caña, así como la madre. La caña debe ser retirada cuidadosamente dejando los brotes que crecen en los nodos. Entonces, la caña debe ser colocada en el vivero, plantada y cubierta con tierra suelta y mezcla de arena de media pulgada de espesor. Después de proporcionar sombra adecuada a las cañas en el vivero con las vainas de coco o de gransa de arroz, debe regarse dos veces al día y la aparición de brotes presentes en todos los nodos de la caña debe apreciarse después de un mes. Continuar el riego hasta los tres meses. La aparición de la raíz se puede observar en 2-3 meses. Después del enraizamiento, el tallo enraizado debe retirarse totalmente de la tierra sin ningún daño. Para facilitar el desarraigo se debe regar las cañas con sus raíces sin daños. Cada nodo enraizado de los brotes deben ser separado con una pequeña pala. El corte separado puede ser transferido a bolsas de polietileno.

Los bambús de cosecha utilizados para la construcción deben ser cosechados cuando los tallos alcanzan su mayor fuerza y cuando el nivel de azúcar en la savia está en su nivel más bajo, porque el alto contenido de azúcar aumenta la facilidad y la tasa de infección por plagas.

La cosecha del bambú suele realizarse de acuerdo a los siguientes ciclos:

1) Ciclo de vida de la caña: Cada caña pasa por un ciclo de vida de 5-7 años, idealmente a las cañas se les debe permitir llegar a este nivel de madurez antes de la cosecha. La limpieza o adelgazamiento de los tallos, especialmente los tallos más viejos en descomposición, asegura la luz y los recursos adecuados para los nuevos brotes. Grupos bien cuidados pueden tener una productividad 3 a 4 veces superior a la de un grupo silvestre sin cosechar.

est strength and when sugar levels in the sap are at their lowest, as high sugar content increases the ease and rate of pest infestation.

Harvesting of bamboo is typically undertaken according to the following cycles.

1) Life cycle of the culm: As each individual culm goes through a 5-7 year life cycle, culms are ideally allowed to reach this level of maturity prior to full capacity harvesting. The clearing out or thinning of culms, particularly older decaying culms, helps to ensure adequate light and resources for new growth. Well maintained clumps may have a productivity 3-4 times that of an unharvested wild clump.

2) Life cycle of the culm: As per the life cycle described above, bamboo is harvested from 2–3 years through to 5–7 years, depending on the species.

3) Annual cycle: As all growth of new bamboo occurs during the wet season, disturbing the clump during this phase will potentially damage the upcoming crop. Also during this high rain fall period, sap levels are at their highest and then diminish towards the dry season. Hence harvesting is best at the end of the dry season, a few months prior to the start of the wet.

4) Daily cycle: During the height of the day, Photosynthesis is at its peak producing the highest levels of sugar in sap, making this the least ideal time of day to harvest. Many traditional practitioners believe that the best time to harvest is at dawn or dusk on a waning moon. This practice makes sense in terms of both moon cycles, visibility and daily cycles.

Leaching is the removal of sap post-harvest. In many areas of the world the sap levels in harvested bamboo are reduced either through leaching or post-harvest photosynthesis. Examples of this practice include:

1. Cut bamboo is raised clear of the ground and leant against the rest of the clump for 1–2 weeks until leaves turn yellow to allow full consumption of sugars by the plant
2. A similar method is undertaken but with the base of the culm standing in fresh water, either in a large drum or stream to leach out sap
3. Cut culms are immersed in a running stream and weighted down for 3–4 weeks

2) Ciclo de vida de la caña: De acuerdo con el ciclo de vida descrito anteriormente, el bambú se cosecha a partir de 2-3 años hasta los 5-7 años, dependiendo de la especie.

3) El ciclo anual: Como el crecimiento del bambú nuevo se produce durante la temporada de lluvias, la alteración del grupo durante esta fase potencialmente daña a la próxima cosecha. También durante este período de mucha lluvia, los niveles de savia se encuentran en su nivel más alto y luego disminuye hacia la estación seca. Por lo tanto, la cosecha es mejor al final de la temporada seca, unos meses antes del inicio de la lluvia.

4) El ciclo diario: al mediodía, la fotosíntesis se encuentra en su pico de producción de los más altos niveles de azúcar en la savia, haciendo de éste el momento menos ideal del día para la cosecha. Muchos practicantes tradicionales creen que el mejor momento para la cosecha es al amanecer o al anochecer en una luna menguante. Esta práctica tiene sentido en términos de ciclos de la luna, la visibilidad y los ciclos diarios.

La lixiviación es la extracción de savia de post-cosecha. En muchas zonas del mundo los niveles de la savia en cosecha de bambú se reduce ya sea por lixiviación o la fotosíntesis post-cosecha. Ejemplos de esta práctica son:

1. El bambú cortado se eleva por encima del suelo y se apoya en el resto del grupo durante 1 a 2 semanas hasta que las hojas se vuelven amarillas y consumen el total de azúcares de la planta.
2. Un método similar se lleva a cabo, pero con la base de la caña de pie en el agua dulce, ya sea en un gran tambor o un arroyo que filtre la savia.
3. Las cañas cortadas se sumergen en una corriente de agua boca abajo por 3 a 4 semanas.
4. Se bombea el agua a través de las cañas recién cortadas para forzar la savia (este método se utiliza a menudo en combinación con la inyección de algún tipo de tratamiento).

En el proceso de lixiviación con agua, el bambú se seca lentamente y de manera uniforme en la sombra para evitar el agrietamiento de la piel externa del bambú, lo que reduce las oportunidades de infestación de plagas.

4. Water is pumped through the freshly cut culms forcing out the sap (this method is often used in conjunction with the injection of some form of treatment)

In the process of water leaching, the bamboo is dried slowly and evenly in the shade to avoid cracking in the outer skin of the bamboo, thereby reducing opportunities for pest infestation.

Durability of bamboo in construction is directly related to how well it is handled from the moment of planting through harvesting, transportation, storage, design, construction and maintenance. Bamboo harvested at the correct time of the year and then exposed to ground contact or rain, will break down just as quickly as incorrectly harvested material.

4. BAMBOO IN ARCHITECTURE & BUILDING

As we already have seen, bamboo has been used by men from the very beginning of civilization up to our high tech society nowadays. Logically, the applications of bamboo in architecture range from the primitive hut to complex structures. But compared to this great variety, the tools and techniques needed to work bamboo are still simple and can be handled without complicated machinery or special skills and even - because of bamboo's low weight - by only a few workers. Its excellent mechanical properties encourage its use, while its tendency to split and shear still makes the joints problematical parts.

The main characteristics of bamboo are a low degree of elasticity, low concrete adhesion, a limited range of practicable culm diameters and lengths, and a wide variability of moisture content.

One could optimise the use of bamboo as a construction material by observing the following rules.

- 1. whole bamboo culms should be limited to reinforcing distribution only.
- 2. all reinforcements should consist of half-culms with the nodes exposed upwards to increase bond strength.
- 3. all culms should be cut approximately 50 mm above ground level and stacked vertically for drying.
- 4. the dried half culm bamboos should be moisture sealed and treated for bond by immersing both ends up to a depth of 250 mm in adhesive. Subsequently, both ends may be lightly sprinkled with coarse clean sand

La durabilidad del bambú en la construcción está directamente relacionado con lo bien que se maneja desde el momento de la siembra hasta la cosecha, el transporte, el almacenamiento, el diseño, construcción y mantenimiento. El bambú cosechado en el momento adecuado del año y luego expuesto al contacto con el suelo o la lluvia, se descompone rápido.

4. EL BAMBÚ EN ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN

Como hemos visto, el bambú se ha utilizado desde el comienzo de la civilización humana hasta nuestra sociedad tecnificada. Las aplicaciones del bambú en arquitectura van desde un refugio primitivo a estructuras complejas. Pero comparado a esta gran variedad, las herramientas y técnicas necesarias para trabajar el bambú permanecen simples y pueden manejarse sin maquinaria complicada o habilidades específicas y - aún- dado su bajo peso, por sólo unos pocos trabajadores. Sus excelentes propiedades mecánicas fomentan su uso, mientras que su tendencia a rajarse y de corte todavía hace que las articulaciones sean partes problemáticas.

Las principales características del bambú son un bajo grado de elasticidad, mala adherencia al concreto, un rango limitado de diámetros y longitudes de caña, y una gran variabilidad del contenido de humedad.

Se podría optimizar el uso del bambú como material de construcción al observar las siguientes reglas.

- 1. Toda la caña de bambú debe limitarse a reforzar la distribución.
- 2. todos los refuerzos deben consistir en media caña con los nodos expuestos hacia arriba para aumentar la resistencia de la unión.
- 3. todos los tallos se deben cortar aproximadamente 50 mm por encima del nivel del suelo y apilados verticalmente para el secado.
- 4. las media cañas secas deben sellarse a la humedad y se trata de sellarlas por inmersión en ambos extremos, hasta una profundidad de 250 mm en el adhesivo. Posteriormente, ambos extremos pueden ser ligeramente espolvoreados con arena limpia y gruesa que elimina el exceso de material. Las resinas de poliéster son más baratas e igualmente efectivas que las resinas epoxi para la adhesión.
- 5. después de que el bambú ha sido tratado como se indica, el resto de la media caña debe estar inmersa durante cuatro días en un sellador adecuado (1:1 mezcla de aceite

and the excess material removed. Polyester resins are cheaper and equally effective as epoxies for adhesion.

- 5. after the bamboo has been treated as above the remaining half-culm should be immersed for four days in a suitable sealant (1:1 mix of linseed oil and turpentine). For reinforcing distribution whole culms can be immersed in the sealant without treating the ends.

How the problems are solved in different parts of the world, different times and by different people - from the nameless barefoot self-builder to the most ingenious architects and engineers, is a very interesting story.

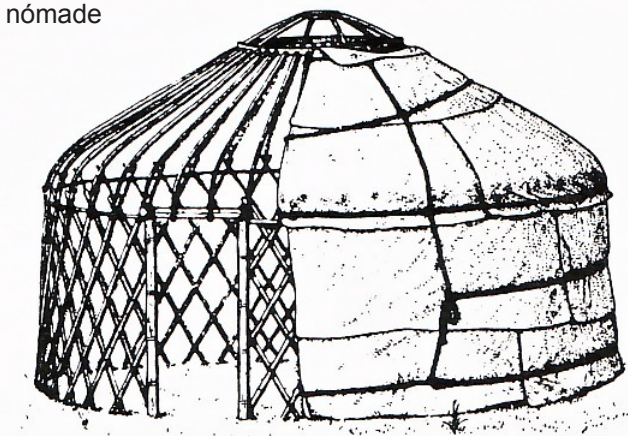
4.1. VERNACULAR BUILDING TRADITIONS

As there is bamboo on a good part of our planet's surface, there are also lots of different traditions of using it in architecture, ranging from the first primitive shelter to most complex 3D-structures. Every continent has developed a special typology for its bamboo buildings, according to cultural peculiarities, climatic needs and the bamboo species available. But there are also techniques of joining and working bamboo all continents have in common, like joining by lashing, or using some kind of meshed or woven bamboo for filling walls. In the following some examples of it.

4.2. EXAMPLES AND TECHNIQUES FROM ASIA

Hearing the word bamboo, most of us think immediately of Asia. As Asia is the home of most bamboo species the relation between Asian culture and the use of this astonishing plant is especially close. It is said that prehistoric Asians learned how to work bamboo before they could work wood, because it was possible to do so

Yurta nómade



Left / Izquierda: Bridge in Batavia, Indonesia.

de linaza y aguarrás). Para reforzar la distribución los tallos deben estar inmersos en el sellador sin el tratamiento de los extremos.

Cómo se resuelven los problemas en diferentes partes del mundo, en épocas distintas y por pueblos diferentes - desde el anónimo autoconstructor de pies descalzos al arquitecto o ingeniero más ingenioso, es una historia interesante.

4.1. TRADICIONES CONSTRUCTIVAS VERNACULARES

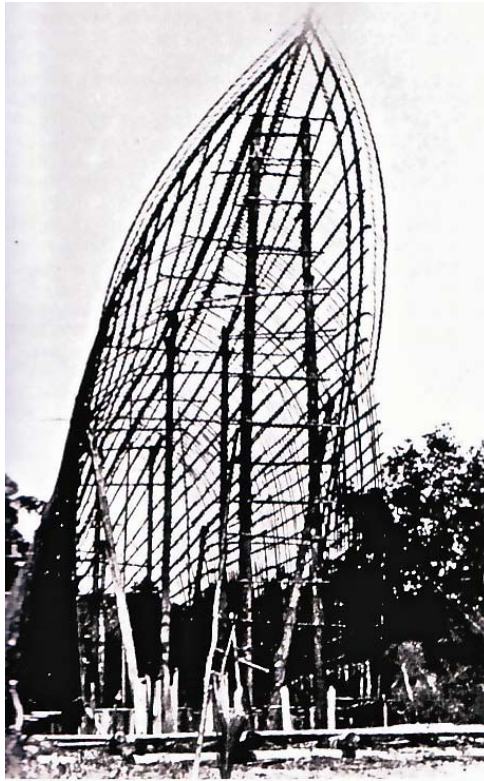
Como hay bambú en buena parte de la superficie del planeta, existen diversas tradiciones de uso en arquitectura, que van desde el primer refugio primitivo hasta la estructura tridimensional más compleja. Cada continente ha desarrollado tipologías especiales para sus edificios en bambú, según las peculiaridades culturales, necesidades climáticas y las especies disponibles de bambú. Pero también hay técnicas de uniones y de trabajo del bambú comunes en todos los continentes, como los amarres de las piezas, o la utilización de pantallas o bambú trenzado para las paredes. A continuación algunos ejemplos de esto.

4.2. EJEMPLOS Y TECNICAS ASIATICAS

Al escuchar la palabra bambú la mayoría de nosotros pensamos de inmediato en Asia. Como Asia acoge a la mayoría de las especies de bambú, su relación con la planta es muy estrecha. Se comenta que los asiáticos aprendieron a usar el bambú antes que la madera, porque era posible hacerlo con sus herramientas primitivas.

Muy extraño, los japoneses, quienes plasmaron el bambú en sus dibujos y poesía y se han destacado por sus finas juntas, nunca fusionaron ambos aspectos - nunca utilizaron estructuras de bambú en sus casas o templos. Generalmente las hacen de madera. El único edificio con estructura de bambú son las casas de té. En otros edificios el bambú

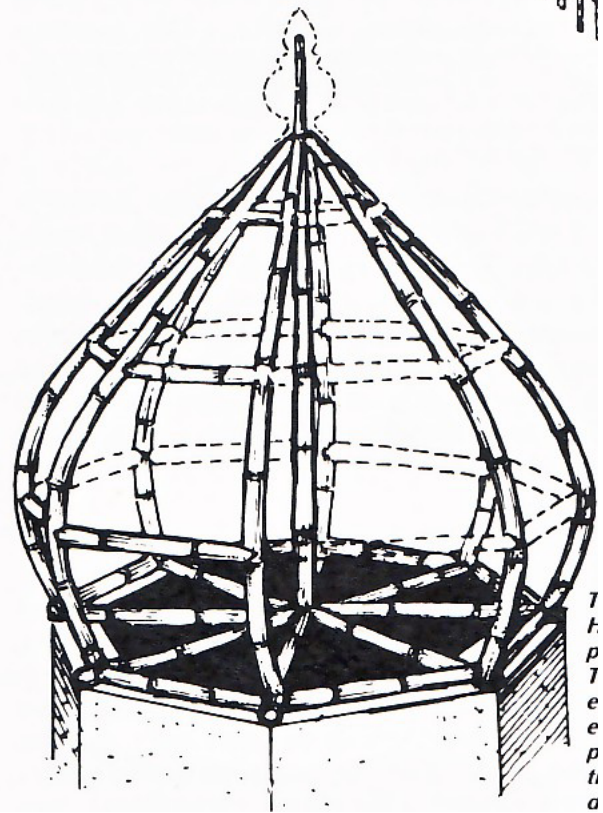


Dawi or Haus
Tambaran

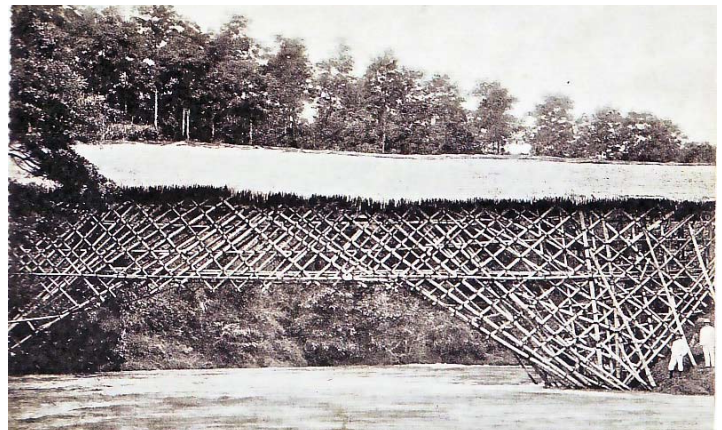
with their primitive tools.

Strange enough, the Japanese, who feature bamboo in drawings and poetry and are well known for their fine joinery, never fused these two aspects - will say they never used bamboo structures for their houses or temples. These are generally made of wood. The only building with a bamboo structure is the tea-house. In other buildings, bamboo is used for roofing, floors, for decorative purposes, and most important, for bamboo reinforced clay-walls. For this purpose, slim culms or bamboo strips are attached to the wooden frame horizontally and vertically at a distance of about 30 cm. To these a secondary closer grid is tied up with a rope out of straw. The result is covered by 3 to 5 layers of clay. This technique is still in use nowadays and also applied in modern buildings like skyscrapers, as it performs very well in earthquakes.⁸

The Indian subcontinent is the part of Asia with the most native species, and so bamboo was and is used in architecture abundantly. According to Hidalgo, the Indians are the people who made most use of bamboo's elasticity. Evolving from the primitive round shaped Veda hut, arcs and cupolas were developed that consisted of bamboo culms bent and lashed together in kind of arrow-and-bow-



Estructura de la cúpula del Taj Mahal en India
China. Bridge constructed entirely in bamboo /
puente construido en bambú.



de bambú reforzadas de arcilla. Con este propósito, las cañas delgadas o tiras de bambú se unen a la estructura de madera horizontal y vertical a una distancia de unos 30 cm. A estos una red secundaria más cercana se ata con una cuerda de paja. El resultado es cubierto por 3 a 5 capas de arcilla. Esta técnica todavía está en uso hoy en día y también se aplica en los edificios modernos, como los rascacielos, ya que funciona muy bien en caso de terremoto.

El subcontinente Indio es la parte asiática con más especies nativas y en consecuencia el bambú se usa

⁸ Hidalgo: Bambú, p. 212ff

principle. The construction principles gained from using bamboo were also transferred into the later masonry architecture - the shape of the famous cupolas of Hindu temples results from the form the bamboo cupolas had.¹⁰ In China temples and pagodes are frequently built of bamboo. Some Mongolian nomads used to construct their yurts out of thin bamboo culms lashed together in a grid structure covered with animal skin. And of course people all over Asia built and build the houses they live in partly or entirely of bamboo.

4.3. EXAMPLES AND TECHNIQUES FROM OCEANIA

Surely the most impressive buildings in Oceanian architecture are the clubhouses for men, called *Dawi* or *Haus Tambaran*. These are entirely built of bamboo, exploiting the huge length of bamboo culms fully. The main supports are two rows of thick bamboo culms in the middle up to 21 m high, with some thin horizontal culms keeping them parallel and at their distance. The same thin culms form the roof structure, an immense tissue reaching from the ground up to the gables and bent into a paraboloid form, which is a very effective structure in receiving forces. Two more rows of thick culms are leaning diagonally against the roof-tissue in order to widen the curve of the bending. The result is a really impressive bamboo-cathedral.

4.4. EXAMPLES AND TECHNIQUES FROM LATIN AMERICA

Maybe the most important example of a bamboo culture can be found in the Caldas region in Colombia. "If not for bamboo, the people of Antioquia could never have succeeded in the process begun a hundred years ago when, in response to political and economic pressures, they emigrated to the province of Caldas in hopes of finding political freedom and new opportunities by taming this virgin land. They had to face the unknown - a different climate, alien vegetation and soil. Without bamboo's innate qualities, its enormous capacity to withstand the frequent earth tremors of the Andean highlands and to adapt to the very irregular topography, the people of Antioquia could not have met the challenge of colonizing these territories. Using bamboo, these self reliant emigrants could solve their housing needs by developing original construction methods."⁹

arquitectónicamente en abundancia. Según Hidalgo, los hindúes son quienes más usan la elasticidad del bambú. Evolucionando de la choza circular Veda, se desarrollaron arcos y cúpulas que consisten en cañas de bambú dobladas y atadas según el principio de flecha y arco. Los principios de construcción obtenidos por el uso de bambú fueron trasladados a la arquitectura de mampostería más tarde - la forma de las cúpulas de los famosos templos hindúes resultados de la forma de las cúpulas de bambú.¹⁰ Los Templos y Pagodas de China son frecuentemente construidas con bambú. Algunos nómadas mongoles utilizan para construir sus yurtas finas cañas de bambú a-tadas entre sí en una estructura de malla cubierta con piel de animal. La población asiática construye sus viviendas en todo o en parte de bambú.

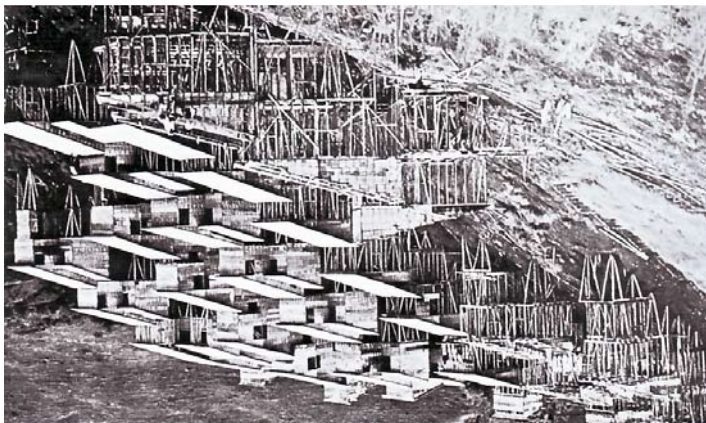
4.3. EJEMPLOS Y TÉCNICAS DE OCEANÍA

Los edificios más impresionantes en la arquitectura de Oceanía son los clubes para hombres, llamados *Dawi* o *Tambaran Haus*. Estos son completamente contruidos de bambú, explotando en su totalidad la enorme longitud de las cañas. Los soportes principales son dos hileras de gruesas cañas de bambú en el centro de hasta 21 m de altura, con algunas cañas delgadas horizontales paralelas y mantenidas a una distancia. Las mismas cañas delgadas forman la estructura del techo, un tejido inmenso que va desde el suelo hasta las fachadas y se inclina en una forma de paraboloide, que es una estructura muy eficaz en la recepción de las fuerzas. Dos hileras de las cañas más gruesas se inclina diagonalmente contra el tejido del techo con el fin de ampliar la curva de la flexión. El resultado es una catedral de bambú realmente impresionante.

4.4. EJEMPLOS Y TÉCNICAS DE LATINOAMÉRICA

Talvez el ejemplo de cultura de bambú más importante se encuentra en Caldas, región de Colombia. "Si no fuera por el bambú, la gente de Antioquia nunca podría haber tenido éxito en un proceso comenzado hace cien años, cuando en respuesta a las presiones políticas y económicas emigraron a la provincia de Caldas con la esperanza de encontrar libertad política y nuevas oportunidades al domar esta tierra virgen. Tuvieron que enfrentar lo desconocido - un clima diferente, vegetación y suelo extranjero. Sin las cualidades innatas del bambú, su enorme capacidad para soportar los frecuentes

9. Santiago Mutis: Bamboo Builds Cities; in: Villegas: Tropical Bamboo, p. 23.

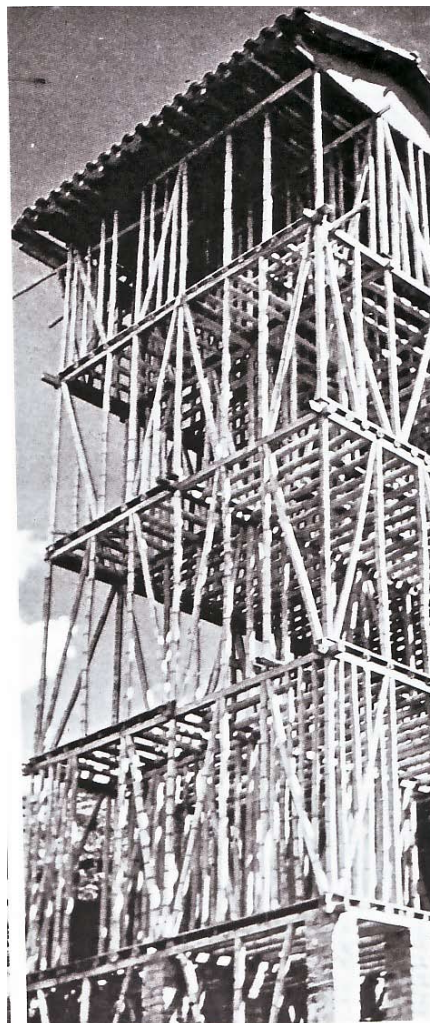


But as bamboo was the only available resource in this untouched land, it served not only as a construction material, but provided the settlers also with material for all the things of daily use. Containers and buckets were made from bamboo as well as water pipes, bridges, fences and countless other objects.

Two main types of building developed: the quadrangular living house, placed on a platform above the ground, with a skeleton structure of entire culms. "Esterilla", bamboo culms opened with an axe and flattened out, or mats of split bamboo formed the walls, sometimes additionally covered with clay. The roof consisted of bamboo tiles, and the floor mostly of esterilla. In plain territory, the floor platform is some 30 or 40 cm above ground, whilst on inclined territory the platform lies on an amazing bamboo scaffold up to seven stories high on the back side of the house, while the front side is at street level.

Though these structures are very stable, earthquake resistant and usually longlasting, there is one problematic point: the use of whole bamboo culms horizontally in order to form the platform. Under the weight of the house the hollow tubes get compressed and the whole structure can yield. As single parts of the structure aren't replaceable, and because of the abundant availability of the material in serious cases the house was deserted and a new one built.

While the apparent structure is very attractive and slim, once you close the built volume, you lose the originality and lightness of the structure and construction becomes banal. It is therefore essential to invent enclosures that value structure rather than hide it, for example, leave the structure on the outside of the enclosure.



temblores de tierra de la sierra andina y de adaptación a la topografía muy irregular, el pueblo de Antioquia no hubiera superado el desafío de la colonización de estos territorios. Con el uso del bambú, estos emigrantes autosuficientes pudieron resolver sus necesidades de vivienda mediante el desarrollo de métodos originales de la construcción.

Pero, como el bambú era el único recurso disponible en esta tierra intocada, no sólo sirvió de material de construcción, sino proveyó a los colonizadores de un material para todos los objetos cotidianos. Contenedores y cubos fueron hechos de bambú, así como las tuberías de agua, puentes, vallas y un sinfín de otros objetos.

Se desarrollaron dos tipos de edificios: la casa cuadrangular, ubicada en una plataforma sobre el suelo, con una estructura de cañas. Esterillas de cañas de bambú rajadas, abiertas y aplastadas, o esteras de bambú aplastado forman las paredes, a veces, además, cubiertas de barro. El techo consiste en tejas de bambú, y el suelo en su mayoría de esterilla. En el territorio de llanura, la plataforma de

The other typical building type is the kiosk. It's "a round, thatched structure that takes fuller advantage of the physical properties of bamboo than any other shelter. [It] was originally a family dwelling, commonly 20 feet in diameter, its conical roof supported by a king post in the center. The walls were of esterilla, which function as hoops in a barrel to keep the columns around the circumference of the kiosk from being shoved outward at the top by the thrust of the rafter and roof weight. When the early kiosks were adapted for use of communal meetings and recreation, the walls were eliminated and their structural function was assumed by peripheral strips of bamboo ringing the kiosk at the top of the columns. Since the king post blocked vision and movement at ground level, its base was eliminated and an umbrella-like framing system was devised for the roof."¹²

4.5. EXAMPLES AND TECHNIQUES FROM AFRICA

In our image of vernacular African architecture the primitive round-shaped hut is quite dominant, and referring to the use of bamboo, this is fairly corresponding to reality. As Africa is not very rich in bamboo, houses are not built entirely of bamboo but always in a combination of other materials. Furthermore, thick culms as columns or other supports didn't find their way into vernacular African architecture. But some African tribes found another way to obtain supports out of bamboo. They bundle thin bamboo culms together and so frame their doors. Bamboo is also applied in several woven roundhuts, forming the vertical "threads".

5. NEW WAYS OF USING BAMBOO

Despite the thousand traditional ways of manufacturing bamboo and using it for construction, there are still lots of problems in applying it in modern structures. But the most important disadvantage of bamboo could also turn out as its greatest advantage: the way it grows. A natural hollow tube, it's perfect for vertical columns and for receiving compression forces in the direction of the fiber. But the same structure forbids using bamboo where it would have to receive compression rectangular to the fiber.

And as the bamboo grows like this, it can't be cut into the desired shape like wood - mostly it has to be used in its natural shape, which is confronting us with another problem: modern building techniques are mostly

piso está a unos 30 o 40 cm del suelo, mientras que en el territorio de la plataforma inclinada se encuentra un andamio de bambú increíble de hasta siete pisos de altura en la parte trasera de la casa, y la parte delantera se encuentra a nivel de la calle.

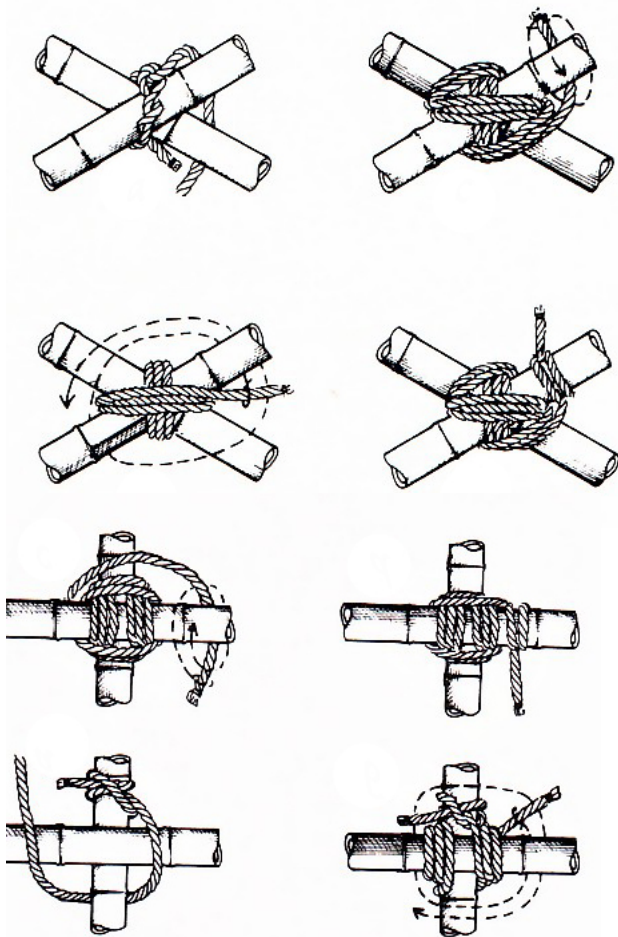
Aunque estas estructuras son muy estables, resistentes a terremotos y muy durables, hay un punto débil: el uso de las cañas completas en la plataforma horizontal. Bajo el peso de la casa, los tubos huecos se comprimen y toda la estructura puede ceder. Como partes individuales de la estructura no se pueden cambiar, y debido a la abundante disponibilidad del material en los casos graves la casa se abandona y se construye una nueva.

Si bien la estructura esbelta aparente es muy atractiva, una vez que se cierra el volumen construido, se pierde la originalidad y liviandad de la estructura y se transforma en una construcción banal. Es por tanto fundamental inventar cerramientos que valoricen la estructura en lugar de esconderla, como por ejemplo, dejarla a la vista por fuera del cerramiento.

La otra tipología de edificio fue la tipo quiosco. Se trata de "una estructura circular, con techo de paja que tiene más ventajas de las propiedades físicas del bambú que cualquier otro refugio. Era originalmente una vivienda familiar, normalmente de 7 metros de diámetro, su techo cónico con un mástil de apoyo en el centro. Las paredes eran de esterilla, que funcionan como los aros en el barril: evitan que las columnas alrededor de la circunferencia de la caseta sean empujadas hacia el exterior en la parte superior por el peso de la viga y del techo. Los quioscos fueron adaptados para el uso de las reuniones comunales y de recreación, las paredes fueron eliminadas y su función estructural fue asumida por bandas periféricas de bambú en la parte superior de las columnas. Como las columnas bloqueaban la visión y el movimiento a nivel del suelo, su base fue eliminada y se concibió un sistema tipo paraguas para el techo"¹².

4.5. EJEMPLOS Y TÉCNICAS DE ÁFRICA

En nuestro imaginario de la arquitectura vernácula de África la cabaña primitiva de forma cilíndrica es bastante dominante, y en relación al uso del bambú, esto corresponde con la realidad. Como África no es muy rica en bambú, las casas no se construyen totalmente de bambú, pero siempre en

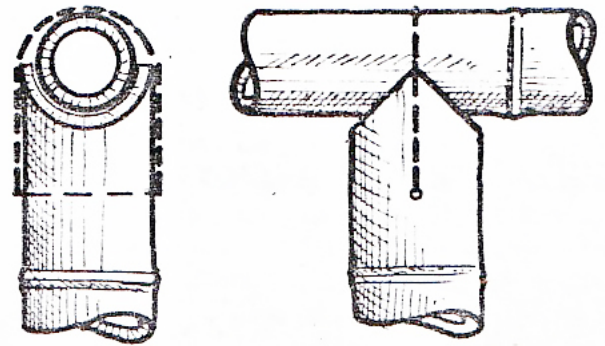


about standardization but bamboo refuses to grow standardized culms. So still the joining of bamboo has to be made in craftsman's way, and serial systems, that are used for supporting structures e.g. out of wood can't be applied on bamboo.

The main effort nowadays is to find methods to standardize bamboo in order to make possible an economically reasonable use of this rather available material. There seem to be three methods worth mentioning attempting to reach this aim: the use of cut parts of a certain size joined together as a structure, the placing of the (un-standardized) culm in a structure in a way that the standardized parts don't have to be adapted to it, and last but not least the use of bamboo in prefabricated parts like panels. There are also efforts to optimize vernacular techniques and give them a scientific base, but sometimes this only leads to repeating old mistakes. Other experiments in joining bamboo and the application of the results in architecture are inevitably individual and therefore costly solutions, which nevertheless are very interesting and could provide us with a lot of precious buildings in the future.

VISTA LATERAL

ALZADA



una combinación con otros materiales. Además, las cañas gruesas como columnas u otros apoyos, no se encuentran en la arquitectura vernácula de África. Sin embargo, algunas tribus africanas encontraron la manera de obtener apoyos de bambú. Empaquetaron varias cañas delgadas y así logran marcos para sus puertas. El bambú se aplica en varios tejidos como sombreros circulares que forman las pantallas verticales.

5. NUEVAS FORMAS DE USAR EL BAMBÚ

A pesar de las miles de formas tradicionales de fabricación de bambú y su uso para la construcción, todavía hay muchos problemas en su aplicación en las estructuras modernas. Sin embargo, la desventaja más importante del bambú también podría resultar ser su mayor ventaja: la forma en que crece. Un tubo hueco natural, que es perfecto para las columnas verticales y para la recepción de las fuerzas de compresión en la dirección de la fibra. Sin embargo, la misma estructura prohíbe su uso en el que tendría que recibir la compresión rectangular a la fibra.

Y como el bambú crece así, no se puede cortar en la forma deseada, como la madera - en su mayoría tiene que ser utilizado en su forma natural, lo que nos enfrenta con otro problema: las modernas técnicas de construcción en su mayoría tienen que ver con la normalización, pero el bambú se niega a crecer con los tallos estandarizados. Así es que se sigue haciendo la unión del bambú en forma artesanal, y los sistemas en serie, que se utilizan para apoyar las estructuras, por ejemplo de madera, no se pueden aplicar al bambú.

El esfuerzo principal es encontrar métodos para normalizar el bambú y hacer posible un uso económicamente razonable de este material tan disponible. Hay tres métodos que vale la pena mencionar para lograr este objetivo: la utilización de piezas cortadas de un

¹² Farrelly: The Book Of Bamboo, p. 47f.

5.1. THE STANDARDIZED WAYS

5.1.1. LOW COST HOUSING

Because of its abundant availability and its possibility to be worked with simple tools and without special knowledge, bamboo has often been stigmatized as the poor man's wood. But nowadays it seems only logical to exploit these facts to provide decent houses for poor people at a bearable cost. Finding standardized systems seems to be the most effective way to achieve this.

In Costa Rica there has been an experimental program for social housing made of prefabricated bamboo panels covered with mortar going on since 1991 run by the National Bamboo Foundation Funbambu. There have been studies on how these houses should be shaped and what special needs of the inhabitants they should fulfill, as well as on how to make up the bamboo panels and other constructive parts of bamboo most effective. Along with experiments, there have been several "marks" in the development of the panels and the houses.

The first panels consisted of a wooden frame covered with "esterilla", opened and flattened bamboo culms. However, it turned out that this is too dense for the mortar to penetrate to the other side and thus to form a compound with the bamboo. So the panels of mark 2 were planked either with *caña brava* or pre-cut bamboo strips leaving a little distance between them. There were also double panels with one layer in *caña brava* and one in bamboo strip.

The prefabricated panels - not yet carrying mortar to facilitate transportation - are brought to the construction place, where they are put as walls on the foundation stripes, joined and covered with mortar, thus also forming the supporting structure of the house. The roof structure - also made of bamboo, joined in a traditional way - is simply laid upon the walls.

30 of these houses have been built in Milano, Costa Rica, by the governmental social housing project, and another project following this pattern was carried out in El Rama, Nicaragua, under the architect Fredo Lopez.

According to the Costa Rican government, the costs of such a house are up to 25% less than for a comparable concrete one.

cierto tamaño, se unen como una estructura; la colocación de la caña (no estandarizada) en una estructura de tal manera que las partes estandarizadas no tienen que adaptarse a ella, y por último pero no menos importante el uso del bambú en piezas prefabricadas, como los paneles. También se deben hacer esfuerzos para optimizar las técnicas vernáculas y darles una base científica, aunque a veces esto sólo conduce a repetir viejos errores. Otros experimentos para unir el bambú y la aplicación del resultado en arquitectura son individuales y en consecuencia son soluciones muy caras, las cuales pueden sin embargo, proveernos de hermosos edificios en el futuro.

5.1 LA NORMALIZACION

5.1.1. CASAS ECONOMICAS

A causa de su enorme disponibilidad y la posibilidad de trabajarlo con herramientas simples y sin conocimiento especializado, el bambú ha sido estigmatizado como la madera de los pobres. Pero hoy en día parece lógico aprovechar estos hechos para proporcionar viviendas dignas para las personas pobres a un costo abordable. Encontrar sistemas estandarizados parece ser la forma más efectiva de lograr este objetivo. En Costa Rica, existe desde 1991 un programa experimental de vivienda social hecha de paneles prefabricados de bambú cubiertos con mortero, a cargo de la Fundación Nacional de Bambú - Funbambu. Se han realizado estudios sobre cómo se deben formar las casas y qué necesidades especiales de los habitantes deben cumplir, así como sobre la manera de hacer que los paneles de bambú y otras partes constructivas del bambú sean más eficaces. Junto con los experimentos, se han producido varias "marcas" en el desarrollo de los paneles y las casas.

Los primeros paneles consistieron en un marco de madera cubierto con "esterilla", cañas de bambú abiertas y aplastadas. Sin embargo, resultaron demasiado densos para que el mortero penetre en el otro lado y, por tanto para formar un compuesto con el bambú. Por eso, los paneles de la marca 2 fueron entablados ya sea con caña brava o listones pre-cortados de bambú dejando una distancia entre ellos. También hubo paneles dobles con una capa de caña brava y una de listones de bambú. Los paneles prefabricados - sin mortero para facilitar el transporte - se llevan a la construcción, donde se ponen en las paredes en

Also after this system had been established, the research for further reductions continued. The foundation stripes seemed to be very costly, and furthermore the joint between the foundation and the panel wall is a problematic point, as well as the covering with mortar is quite intensive in weight and material.

So in mark three the decision was to introduce columns of whole bamboo culms as supporting structure, with only point foundations of concrete. The panels - now without frames, are attached via "Universal Structural Support Platforms" to the columns, and now it's enough to cover the panels with an available material like paper, because they do not form the supporting structure anymore.

The Forest Research Institute of Dehra Dun, India is also experimenting on structures with walls of bamboo matting and bamboo-mud walls.

Another project of low cost housing is the "Grow your own house" in Calarca, Colombia, under the direction of Simon Velez and ZERI (Zero Emissions Research Initiative), where standardized bamboo houses for \$ 4000 are built from bamboo especially grown for this.

5.1..2. STANDARDIZED STRUCTURES

The problem in using bamboo in standardized structures is that every bamboo culm is naturally different. In order to join them in a structure, they have to be adjusted to each other, which is the exact contrary of standardization. Another problem used to be, that, once joined, it wasn't possible to replace single parts of the structure, e.g. if deteriorated - so that the whole structure had to be removed. The first step towards standardization seems to be structures with members of only one or two standardized lengths, so that the bamboo can be pre-cut and only has to be joined.

Buckminster Fuller built some of his geodesic domes out of bamboo at the school of engineering in Calcutta in the 1920s, using pre-cut culms of two lengths loosely tied to each other, so that the joints could arrange themselves when the structure was erected.

las franjas de la fundación, se unen y se cubren con mortero, formando parte de la estructura de soporte de la casa. La estructura del techo - también de bambú, se une de forma tradicional - se posa sobre los muros.

Se han construido 30 de estas casas en Milano, Costa Rica, con el proyecto de vivienda social del gobierno, y el proyecto El Rama, en Nicaragua que sigue este modelo se llevó a cabo bajo la dirección del arquitecto Fredo López. De acuerdo con el gobierno de Costa Rica, el costo de una casa de bambú es hasta un 25% menos que una casa comparable de concreto.

Después de establecido este sistema, la investigación de nuevas reducciones continuó. La fundación de listones parecía ser muy costosa y, además, la articulación entre la base y el panel de la pared un punto problemático, así como el revestimiento con mortero es muy intensivo en peso y material.

Así, en la marca 3 la decisión fue introducir columnas de cañas de bambú como estructura de soporte, con sólo puntos de fundaciones de hormigón. Los paneles - ahora sin marcos, se unen a través de "Plataformas Universales de apoyo estructural" a las columnas, y ahora es suficiente para cubrir los paneles con un material disponible como el papel, ya que no forman parte de la estructura de soporte.

El Instituto de Investigación Forestal de Dehra Dun, India, también está experimentando en las estructuras con paredes de esteras de bambú y paredes de barro y bambú.

Otro proyecto de viviendas de bajo costo es la "Cultiva tu propia casa", en Calarcá, Colombia, bajo la dirección de Simón Vélez y ZERI (Zero Emissions Research Initiative), la cual construye casas estandarizadas de bambú de US\$ 4.000 dólares con bambú especialmente cultivado para ello.

5.1.2. ESTRUCTURAS NORMALIZADAS

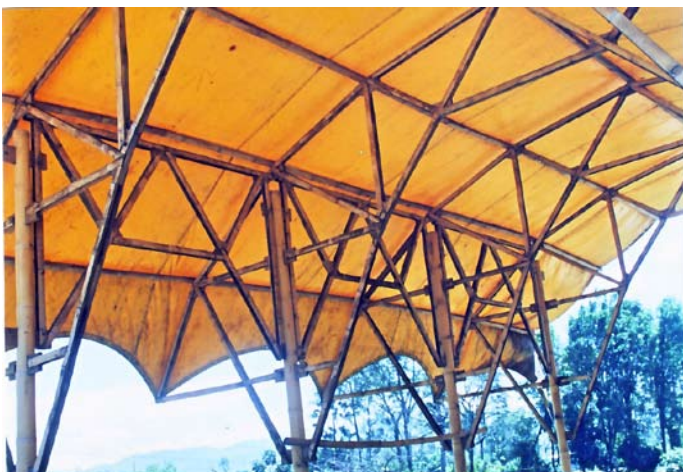
El problema en el uso del bambú en estructuras estandarizadas es que cada tallo de bambú es naturalmente diferente. Con el fin de unirse a ellos en una estructura, tienen que ajustarse el uno al otro, que es exactamente lo contrario de la normalización. Otro problema solía ser, que, una vez unido, no era

Neil Nehrbass, an architect from Louisiana pursued Fuller's idea in designing "bamboo polyhedral shelters for low cost mass shelter in areas of bamboo abundance. He notes that a hacksaw and drill are the only required tools; that structures using *all members* of the *same length* can be constructed without the skills of reading and measuring; that lashing is a skill available in all cultures (...); that the shelters could be mass produced at grove site, with a line cutting, curing, trimming, sunning, cutting to lengths, drilling, and packaging. "Total weight of a 175 square-foot shelter (...) including all framing, skin, ventilation, and door is only 60 pounds, 10 cubic feet in volume. Packaged, this complete shelter can be carried by one person and assembled in four hours without tools on site requiring no foundation but anchored stakes in winds. (...) Although Davis in "*Shelter After Disaster*" (1978) warns against confronting disaster victims with outlandish shapes that might shock them more, the ease and rapidity of construction might warrant using these polyhedras experimentally to test their acceptance and practicality.

posible reemplazar partes de la misma estructura, por ejemplo, si se deterioraba - de modo que toda la estructura debía retirarse. El primer paso hacia la estandarización parece ser que las estructuras tengan miembros de una o dos longitudes estándar, de manera que el bambú puede ser pre-cortado y sólo tiene que unirse.

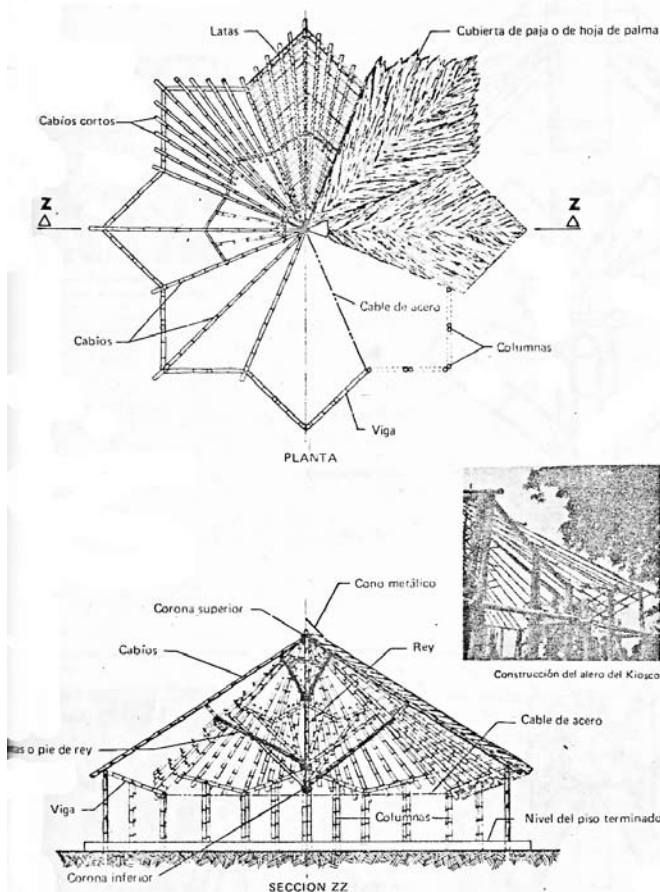
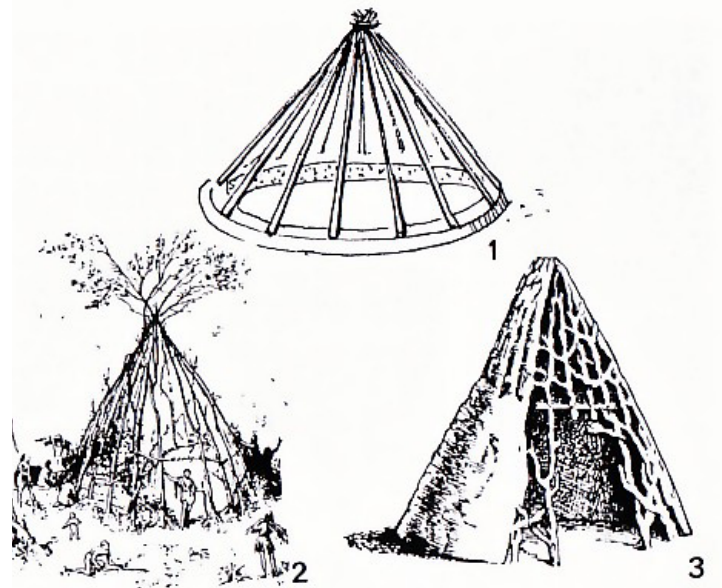
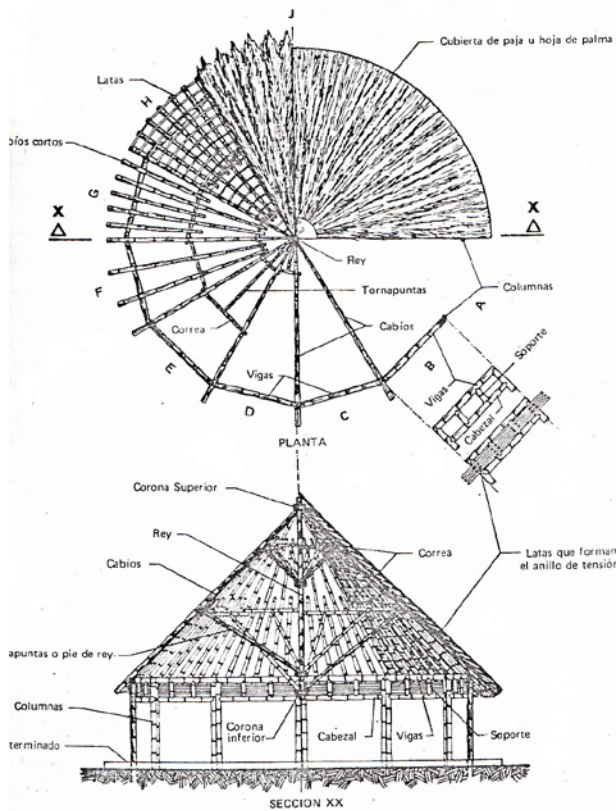
Buckminster Fuller construyó algunas de sus cúpulas geodésicas de bambú en la escuela de Ingeniería en Calcuta, en la década de 1920, con tallos pre-cortados de dos longitudes apenas amarrados entre sí, de modo que las articulaciones podrían organizarse cuando la estructura fuera erigida.

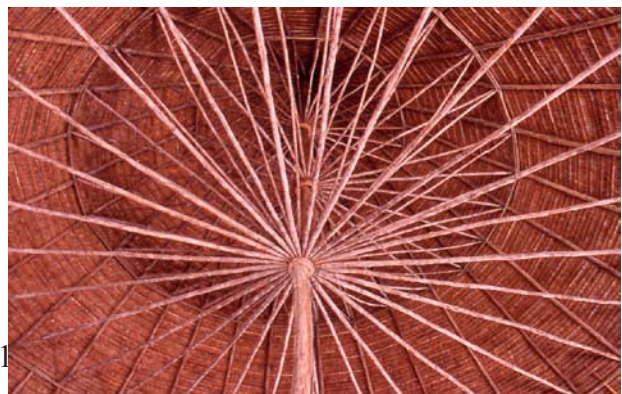
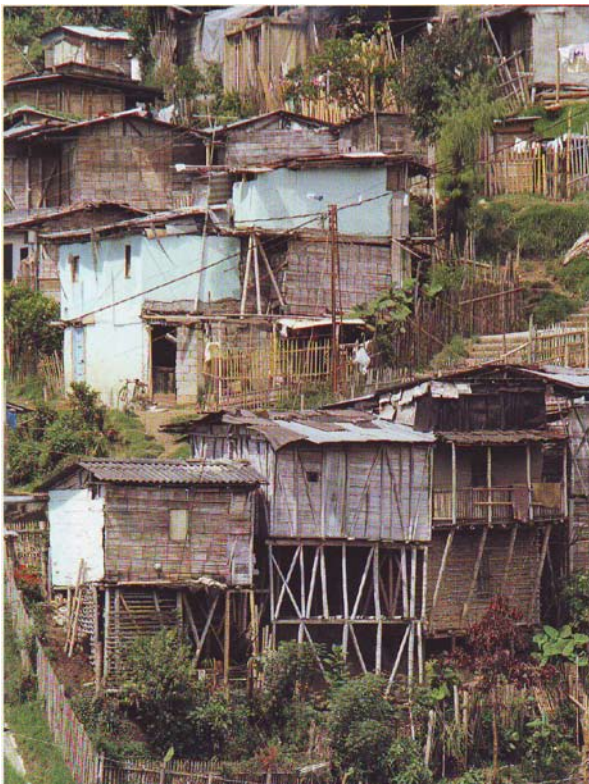
Neil Nehrbass, un arquitecto de Louisiana acabó la idea de Fuller en el diseño de "refugios de bambú poliédricos", vivienda de bajo costo en las zonas de abundancia de bambú". Señala que una sierra y un taladro son las únicas herramientas necesarias, que las estructuras con todos los miembros de la misma longitud, puede ser construida sin las habilidades de lectura y de medición, que la habilidad de amarre está disponible en todas las culturas (...); que los refugios pueden producirse en masa en el sitio del bosque, con una línea de corte, secado, recorte, tomar el sol, el corte a la longitud, la perforación y el embalaje. "El peso total de una vivienda (...) 175 metros cuadrados, incluidos todos los marcos, la piel, la ventilación y la puerta es de sólo 60 libras, 3 metros cúbicos de volumen. Empaquetado, este refugio completo puede ser transportado por una persona y se arma en cuatro horas sin necesidad de herramientas en el sitio, no requiere de fundación, pero debe estar anclado por los vientos. (...) A pesar que Davis en "El refugio después de un desastre" (1978) advierte que no hay que confrontar



Experimentation in Costa Rica / Experimentos en Costa Rica Funbambú, .

Chile, Guinea, Nicobar Island, India.





Demonstration of the form in several Nicaraguan villages inspired interest.¹³ Alejandro Ugarte now builds basilican structures of bamboo based on mark three of the above described pre-fab system, with trusses of congruent triangles forming the supporting structure so that pre-cut bamboo culms can be used. One example is the Research Center of the Caribbean Conservation Corporation in Tortuguero, Costa Rica, built in 1999. He remarks that it even was possible to design the whole structure in CAD and that there weren't any problems about measure tolerance in putting the pre-cut elements together.

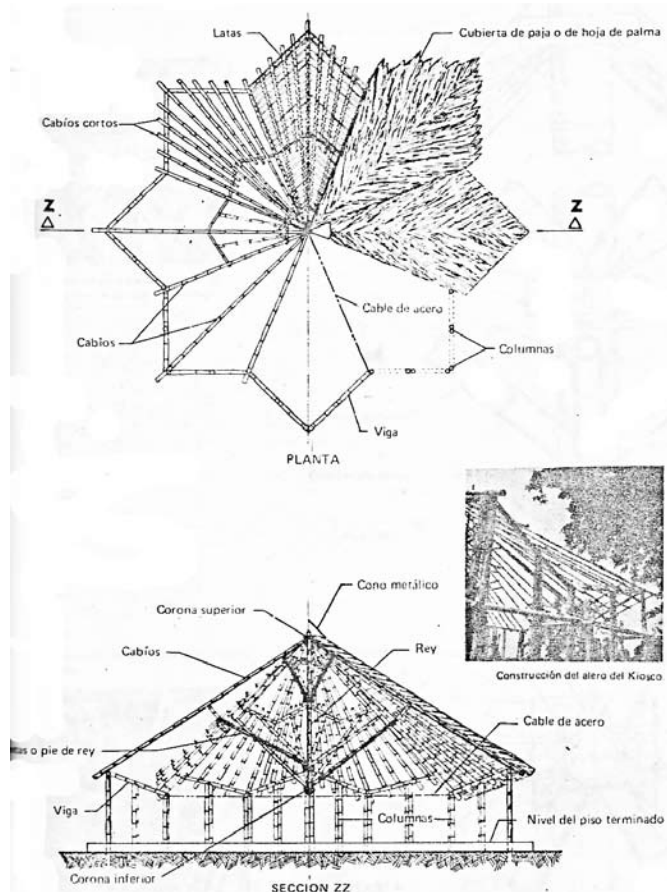
John Cauty, who had joined the Funbambu-project about three years ago, has his own ideas in how to approach standardization. First, he wanted to use bamboo in the most natural way possible, without "raping" it. He gained two principles from observing a bamboo grove: "A horizontal bamboo culm within a stand is a dead one (...) [and the culms stand] closely (...) within the stand with (...) never actually touching one another."¹⁴

These principles, applied in building, seem to eliminate all the techniques used for bamboo construction up to now. And he wanted to fulfill two more demands: achieving that the natural variety of the culm measures doesn't matter to the structure and that the single members of the structure are exchangeable. The system resulting from these thoughts is called "Technoboo and the Universal Structural Support Platform". Whole culms are only used as vertical columns. The USSP is "rather like a surgical procedure, in harmony with the nature of bamboo, where a wooden plate is inserted through the culm and sealed to carry external loads in either compression or tension. As other members of the structure or panels are fixed to the USSPs, the culm doesn't have to be adjusted in a joint, nor do its measures matter. It could as well be bent, as long as the respective fixing points on the USSPs are in line. The horizontal members of the structure are formed of Technoboo - trusses out of machined bamboo strips, like a sandwich construction. The strips are led in pairs from platform to platform. It is easily possible to build these trusses in simple patterns without many skills or tools, and they will still be identical. There aren't any limits to their form nor extent. Up to now, spans up to 9 m have been reached, but this can easily exceeded.

a las víctimas del desastre con formas extrañas que pudieran choquearlas aún más, la facilidad y rapidez de la construcción podría garantizar el uso de estos poliedros experimentales para probar su aceptación y utilidad.

La demostración de la forma en varios pueblos de Nicaragua despertó interés.¹³ Alejandro Ugarte construyó estructuras basilicales de bambú sobre la base de marca 3 de los descritos anteriormente del sistema prefabricado, con armaduras de los triángulos congruentes que forman la estructura de apoyo para que las cañas de bambú de pre-corte se puedan utilizar. Un ejemplo es el Centro de Investigación de la Caribbean Conservation Corporation, en Tortuguero, Costa Rica, construido en 1999. Él comenta que incluso, fue posible el diseño de toda la estructura en CAD y que no había ningún problema de la tolerancia en la medida, al poner los elementos de pre-corte juntos.

John Cauty, que se había unido al proyecto Funbambu- hace unos tres años, tiene sus propias ideas en la forma de abordar la normalización. Primero quería



¹³ Farrelly: The book of bamboo, p. 106f

The construction is extremely lightweight, so that one or two persons can bring the trusses up, and the properties of steel trusses can be approached.

One curious thing about the USSP is that van Lengen recommends a similar wooden platform to tie the lashes used in conventional bamboo joints to.¹⁶

5.1.3. THE INDIVIDUAL WAYS

Contemporary architects, that get fascinated by bamboo and try to find their own ways for building with this material, usually start out with studying traditional building techniques and trying to improve them or combining them with new ones. As the traditional way to work bamboo is that of craftsmen, also the improved techniques are based on individual processing, not on standardization.

As one early example of this mixture out of tradition and modernism, a kiosk with star-shaped plan was built by Oscar Hidalgo, one of the pioneers in modern bamboo research, in 1962 for the Club Campestre in Palmira, Colombia. It's based on two squares with side lengths of 15 m, the longest diagonal measuring 21.2 m. Similar to the traditional Colombian kiosk, it doesn't have a central column but a king post. Due to its form, it was not possible to use the traditional bamboo tension ring applied with a circular plan. Instead, steel tension cables spanning across were used. The system proved to be quite stable, and the kiosk, intended to be temporary, was still in good shape after 11 years. A problem arised through the deteriorating of some bamboo parts - they aren't replaceable, so that the kiosk would have had to be removed and reconstructed in total.¹⁰

Simon Velez, a more contemporary Colombian architect, became interested in bamboo through the amazing buildings in the Caldas region. Knowing of the exceptional tension strength of bamboo, that can't be exploited because bamboo shears and splits before, he tried to find a way of applying bamboo as a tension member. "Initially I used bamboo in structures that would only have compression loads, such as arches, whose geometry allows the components to be used in this way. That was the way brick or stone arches were made by the Romans. In consequence,

usar el bambú en la forma más natural posible, sin "violarlo". De la observación de un bosque de bambú, dedujo dos principios: "una caña de bambú horizontal sin un soporte es un muerto (...) [y de pie las cañas] muy de cerca (...) dentro del soporte con (...) en realidad nunca se tocan una con otra "¹⁴.

Estos principios, aplicados en la construcción, parecen eliminar todas las técnicas utilizadas en la construcción en bambú hasta ahora. Y quería cumplir con dos requisitos más: lograr que la diversidad natural de las medidas de caña no le importara a la estructura y que los miembros individuales de la estructura sean intercambiables.

El sistema resultante de estas ideas se llama "Technoboo y la Plataforma Universal de Apoyo Estructural". Los tallos sólo se utilizan como columnas verticales. El USSP es "algo así como un procedimiento quirúrgico, en armonía con la naturaleza del bambú, donde se inserta una placa de madera a través de la caña y se sella para soportar cargas externas, ya sea en compresión o tensión. Como otros miembros de la estructura o de paneles se fijan a la USSPs, la caña no tiene que ser ajustada en una articulación, ni las medidas de su materia. Podría así ser doblada, siempre y cuando los puntos de fijación respectivos en el USSPs estén en línea. Los miembros horizontales de la estructura se forman de technoboo - entramados de listones de bambú mecanizados, como una construcción tipo sándwich. Los listones son guiados por parejas de plataforma en plataforma. Es fácilmente posible la construcción de estas vigas en los patrones de simpleza, sin muchas habilidades o herramientas, y que seguirán siendo idénticos. No hay límites a su forma, ni medida. Hasta ahora, se han alcanzado hasta 9 m de extensión, pero esto puede fácilmente ser superado.

5.1.3. LOS CAMINOS PERSONALIZADOS

Los arquitectos contemporáneos, se fascinan por el bambú y tratan de encontrar sus propios caminos para la construcción con este material, por lo general comienza con el estudio de técnicas tradicionales de construcción y tratan de mejorar su combinación con otras nuevas. En la medida que la forma tradicional de trabajar el bambú es la de los artesanos, también la mejora de las técnicas se basa en el tratamiento individual, no en la estandarización.

10. Hidalgo: Bambú, p. 201ft



I developed a type of joint and construction method that, although it was quite obvious and straightforward, no one had thought of before. I was able to achieve spans of up to sixty-six feet, covered by cement mortar and heavy pantiles. "As to structures with similar types of roofs with a large overhang, I discovered that, for high stress traction joints, the bamboo internodes had to be filled with cement so that they could bear the stresses of the plates and screws and so as to prevent the bamboo from splitting. The bamboo fiber, amazingly resistant to traction, is rather like a vegetable steel. In these structures it is the strength of the screws rather than of the bamboo which must be borne in mind."¹⁸

With this technique, Velez built roofs with cantilever eaves over 6 m. Velez builds mostly upper class homes inventing amazing structures. "Costing an average \$800/m², Velez's homes are not within the reach of majority of Columbians. But what they might succeed in doing is to remove from public mind the prejudice against bamboo as construction material of the poor. Approval of bamboo as the building material of choice by the upper class is expected to boost its use in other classes of society also."¹¹

A bamboo pavilion for the Expo in Hannover is built following the construction principles mentioned above. Since bamboo is available in lengths up to 11 m, astounding spans can be reached, while the structure still seems fragile. However, critics say that it is not a

Uno de los primeros ejemplos de esta mezcla de tradición y modernidad, es un kiosco con forma de estrella, construido por Oscar Hidalgo, uno de los pioneros en la investigación sobre el bambú moderno, en 1962 para el Club Campestre de Palmira, en Colombia. Se basa en dos cuadrados con longitudes de 15 m x lado, el más largo en la diagonal mide 21,2 m. Al igual que en el quiosco tradicional colombiano, no tiene una columna central, sino un mástil. Debido a su forma, no fue posible utilizar el anillo de la tensión de bambú tradicionales aplicadas con una planta circular. En cambio, los cables de acero a tensión se utilizaron. El sistema demostró ser bastante estable, y el quiosco, con la intención de ser temporal, todavía estaba en buena forma después de 11 años. Un problema surgió con el deterioro de algunas partes del bambú - que no son reemplazables, de modo que el quiosco se tuvo que retirar y reconstruir totalmente.

Simón Vélez, arquitecto colombiano más contemporáneo, se interesó en el bambú por los asombrosos edificios en la región de Caldas. Conocedor de la excepcional resistencia a la tensión del bambú, que no puede ser explotado porque el bambú se raja y divide antes, trató de encontrar una manera de aplicar el bambú como un miembro de la tensión. "Al principio yo solía usar el bambú en las estructuras que sólo tienen cargas de compresión, tales como arcos, cuya geometría permite usar los componentes de esta manera. Como los arcos de ladrillo o piedra realizados por los romanos. En consecuencia, he desarrollado un tipo de método de articulación y construcción que, aunque era bastante obvia y directa, no se me había ocurrido antes. Tuve la oportunidad de alcanzar luces de hasta sesenta y seis metros, cubierto por mortero de cemento y tejas pesadas. "En cuanto a las estructuras con el mismo tipo de tejados con una proyección grande, descubrí que, para juntas de alta tensión de tracción, los entrenudos de bambú tenían que ser rellenos con cemento para que pudieran soportar las tensiones de las placas y los tornillos y a fin de prevenir la división del bambú. La fibra de bambú, sorprendentemente resistente a la tracción, es más bien como el acero vegetal. En estas estructuras es la resistencia de los tornillos en lugar del bambú lo que hay que tener en cuenta"¹⁸. Con esta técnica, Vélez construyó techos con aleros voladizos de más de 6 m. Vélez construye mayoritariamente casas de clase alta e inventar estructuras asombrosas. "Con un costo promedio de US \$ 800/m², las casas de Vélez no están al alcance de la mayoría de los colombianos. Pero en lo que podría

11. INBAR: Bamboo And Rattan Worldwide, p. 2.

very apt technique putting a hollow tube into tension, and that Velez is using bamboo in an unnatural way. Vladimir Mauzit, a French architect, uses bamboo in hyperbolic paraboloid structures. Apart from experimental houses, he has built the roundhouse restaurant for a Vietnamese resort following this system. "Crossed frames of thick bamboo supporting a steeply sloping conical thatched roof, keep the dining area pleasantly shaded but still bright."¹² Unfortunately, we don't have any information, what kind of joining Mr Mauzit is applying in his constructions.

Resorts in Asia and other touristically interesting regions could be an important application for bamboo architecture in the future - also travelers become more and more aware of the environment, and so they prefer to spend their vacations in surroundings with natural, local and sustainable materials. Up to now, these bamboo resorts are mostly built with traditional techniques, as they normally consist of single bungalows or huts that don't need a complicated structure. But as the number of these resorts increases, the ideas about innovative structures in this respect will be develop.

6. OTHER USES

6.1. BAMBOO-REINFORCED CONCRETE

The observation that bamboo's properties are in many respects similar to those of steel, while it is much cheaper and less consuming resources induces thinking of bamboo as a substitute for steel in reinforced concrete.

There have been conducted various experiments with bamboo reinforced concrete beginning as early as 1917 in China, 1934 in Germany and - maybe the most important in the United States 1950 by Glenn and associates at the Clemson College of Engineering in South Carolina. They achieved promising results in beams with a bamboo reinforcement of 3 - 4% of the cross-sectional concrete area. These beams carried up to the fivefold load of unreinforced ones. In concrete slabs and secondary members it is even possible to use green, unseasoned bamboo, though it is recommended to dry the bamboo about 25 days and use mature one. However, it resulted for them

tener éxito es eliminar de la mente del público el prejuicio contra el bambú como material de construcción de los pobres. Se espera que la aprobación del bambú como material de construcción selecto por la clase alta, impulse su uso en otras clases de la sociedad. "

El pabellón de bambú para la Expo de Hannover está construido según los principios de construcción antes mencionados. Como el bambú está disponible en longitudes de hasta 11 m, se alcanzan luces sorprendentes, mientras que la estructura todavía parece frágil. Sin embargo, los críticos dicen que no es una técnica muy apropiada poner un tubo hueco a tensión, y que Vélez usa el bambú de una manera artificial. Vladimir Mauzit, un arquitecto francés, utiliza el bambú en las estructuras de paraboloide hiperbólico. Además de casas experimentales, ha construido un restaurant circular para un resort de Vietnam usando este sistema. "Marcos de bambú grueso cruzados soportan el techo cónico de paja, con una fuerte pendiente que mantiene el comedor en agradable sombra, pero iluminado." Desafortunadamente, no tenemos ninguna información, qué tipo de unión el señor Mauzit está aplicando en sus construcciones.

Los centros turísticos en Asia y otras regiones turística-mente interesantes podrían ser una aplicación importante para la arquitectura de bambú en el futuro - así como la exigencia de los viajeros cada vez más conscientes del medio ambiente, y por lo que prefieren pasar sus vacaciones en un entorno con materiales naturales, locales y sostenibles. Hasta ahora, estos centros de bambú son en su mayoría construidos con técnicas tradicionales, ya que normalmente consisten en bungalows o cabañas individuales que no necesitan una estructura complicada. Pero como el número de estos complejos turísticos aumenta, las ideas acerca de estructuras innovadoras en este sentido se están desarrollando.

6. OTROS USOS

6.1. HORMIGÓN ARMADO CON BAMBÚ

La observación de que las propiedades del bambú son en muchos aspectos similares a las del acero, siendo mucho más barato y que consume menos recursos, induce a pensar en el bambú como sustituto del acero en hormigón armado.

Se han realizado varios experimentos con hormigón armado en bambú a partir de 1917 en China, 1934 en

12. Timms: Living It Up In Bamboo, p. 1.

that “the bamboo reinforcement of nonload-bearing members, such as wall panels and floors resting on well compacted earth, has more to recommend it than bamboo reinforcement of load-bearing members of a structure.”¹³ Also at the Indian Dehra Dun institute researches were made on bamboo reinforced concrete in order to save steel in the country.

They “tested bamboo as a reinforcing material in various cement concrete precast and cast-in-situ structural components. High absorption of water from cement concrete initially resulted in dreadful cracks in the concreted components (...). However, suitable, easily applied water repellent has been found, resulting in safe structures: by dipping bamboo strips, 20 by 9 mm, in 80/100 grade hot bitumen and sand blasting, the bitumen acts as water-repellent, and the sand coating helps increase bond. After drying, the bamboo strings are tied into a mesh as usually done. These investigations showed bamboo use in place of steel reduced costs 33 percent. A number of full-scale demonstration and use structures have been built (...) [including] a double-story residential block with a variety of structural components and encouraging results. The most efficient and less material intensive structures of reinforced concrete are HP-shells. According to architect Jim Orjala, bamboo lattice is equal to the steel mesh usually applied. “The bamboo lattice when curved, or prestressed, gains considerable strength in its ability to span space and resist bending due to external compressive loading (...) [and], thinly coated with lightweight cement to aid in taking compressive stresses, provides a structure of exceptional efficiency and economy in the use of materials.”¹⁴ Surely, this is an inspiring clue to take on further research.

6.2. LAMINATED BAMBOO

As well as laminated wood is used in order to reach larger dimensions and spans and more homogenous properties, laminated bamboo can be a material optimizing the qualities of bamboo and eliminating the disadvantages. Japanese bowmakers already employed this technique hundreds of years ago, and with new glues and resins its efficiency can be improved by far. However, as bamboo is a hollow

Alemania y - tal vez el más importante en los Estados Unidos 1950 por Glenn y colaboradores en la Escuela de Ingeniería de Clemson en Carolina del Sur. Se obtuvieron resultados prometedores en las vigas de bambú con un refuerzo de 3 - 4% de la superficie de hormigón de sección transversal. Estas vigas llevan hasta el quíntuple de carga de los no reforzados. En las losas de concreto y los miembros secundarios, incluso es posible usarlo verde, bambú sin sazonar, aunque se recomienda secar el bambú durante unos 25 días y el uso de bambú maduro. Sin embargo, resulta que “el refuerzo de bambú en los miembros sin cargas, tales como paneles de pared y pisos de descanso en tierra bien compactada, es más recomendable que el refuerzo de bambú en los miembros de carga de una estructura.” También en el Instituto Dehra Dun en India se realizaron investigaciones en hormigón armado con bambú a fin de ahorrar acero en el país.

Probaron el bambú como material de refuerzo en prefabricados de hormigón de cemento y varios componentes estructurales fundidos in situ. El de concreto de cemento resultó tener alta absorción de agua e inicialmente dió lugar a grietas terribles en los componentes de hormigón (...). Sin embargo, se han encontrado repelentes al agua adecuados, fáciles de aplicar, dando lugar a estructuras de seguridad: por inmersión de los listones de bambú, 20 de 9 mm, en 80 centésimas de grado asfalto caliente y chorro de arena, el asfalto actúa como repelente al agua, y la capa de arena contribuye a unir. Después del secado, las cuerdas de bambú se atan en una malla como normalmente se hace. Estas investigaciones demuestran que el uso del bambú en lugar de acero reduce los costos en un 33%. Una serie de demostraciones en gran escala y el uso de estructuras se han construido (...) [como] una zona residencial de dos pisos con una gran variedad de componentes estructurales y resultados alentadores. Las estructuras más eficiente y menos intensivas en material de hormigón armado son las conchas HP-. Según el arquitecto Jim Orjala, el enrejado de bambú es igual a la malla de acero que normalmente se aplica. “La malla de bambú cuando se curva, o pretensa, aumenta la fuerza considerablemente en su capacidad para abarcar el espacio y resistir la flexión debido a la carga de compresión externa (...) [y], finamente revestida con cemento liviano para ayudar con los esfuerzos de

¹³ McClure: Bamboo As A Building Material, cited after Farrelly: The Book Of Bamboo, p. 99.

¹⁴ Farrelly: The Book Of Bamboo, p. 99f.

tube with its strongest part being the outer layer of the culm, the cuts used for lamination have to be carefully chosen, which makes the process with bamboo more difficult than with wood.

The simplest way of obtaining a laminate is joining two parallel cut bamboo strips with their planed back/inner sides. The strip resulting still has the looks of the bamboo culm but gained in force.

A more elaborate way is joining several layers of bamboo strips with a quadrangular cross-section. If these strips are cut from the culm, their size is limited by the wall thickness and the diameter of the culm, but they can be joined in blocks as known from laminated wood in order to obtain larger cross-sections. The problem is that strips cut in this way are not homogenous, as the strength of the culm wall declines in three layers towards the inner side, and a quadrangular section from a hollow tube will always consist out of more than one layer.

Maybe most effective is to take off the strongest outer layer of the culm in a rotation system a known from veneering. Thus, larger widths can be achieved as well as a homogenous material with the best bamboo properties.¹⁵

Laminated bamboo is nowadays mostly used for cheap decorative products, but several designers are experimenting it for furniture. It is also applied for bamboo parquet and it could be used for covering panels.

6.3. BOARD MATERIALS

Another promising use of bamboo in a more industrialized way is the production of bamboo board material.

The bamboo layers obtained by the above described rotation system are excellent for "plybamboo" - a board material out of several bamboo layers at right angles to the adjoining ones, analogue to plywood.

The term plybamboo is also used for boards from (mostly) three woven bamboo mats soaked with resin solution and pressed under heat. Similar boards made from one mat proved to be flexible and especially suited for light

compresión, ofrece una estructura de una excepcional eficiencia y economía en el uso de materiales. "Sin duda, esta es una idea inspiradora para continuar con la investigación.

6.2. BAMBÚ LAMINADO

Así como la madera laminada se utiliza con el fin de alcanzar grandes dimensiones y luces y a propiedades más homogéneas, el bambú laminado puede ser un material para optimizar las cualidades del bambú y la eliminación de las desventajas. Los fabricantes de proas japoneses, ya empleaban esta técnica cientos de años atrás, y con nuevas colas y resinas su eficacia se puede mejorar en gran medida. Sin embargo, como el bambú es un tubo hueco con su parte más fuerte en la capa externa de la caña, los cortes utilizados para la laminación deben ser cuidadosamente seleccionados, lo que hace el proceso de bambú más difícil que con madera.

La forma más sencilla de obtener un laminado es la unión de dos tiras paralelas de corte de bambú con la espalda cepilladas / lados interiores. La tira resultante mantiene el aspecto de la caña de bambú, pero gana en fuerza.

Una forma más elaborada une varias capas de tiras de bambú con un corte cuadrangular. Si estos listones se cortan a partir de la caña, su tamaño está limitado por el espesor de la pared y el diámetro de la caña, pero se pueden unir en bloques como se hace con la madera laminada con el fin de obtener grandes secciones.

El problema es que los listones cortados de esta manera no son homogéneos, ya que la resistencia de la pared de la caña disminuye en tres capas hacia el lado interno, y una sección cuadrangular de un tubo hueco, consistirá siempre de más de una capa.

Tal vez lo más eficaz es quitar la capa externa más fuerte de la caña con un sistema de rotación de un conocido recubrimiento. Así, se puede lograr mayor espesor, así como un material homogéneo con las mejores propiedades del bambú.

El bambú laminado hoy en día se utiliza sobre todo para los productos baratos de decoración, pero algunos diseñadores están experimentando con los muebles. También se aplica para el parquet de bambú y se podría utilizar para cubrir paneles.

¹⁵ see: Hidalgo: Bambu, p. 231.

Cauty: The Grass House Game, p. 7

Cauty: The Grass House Game, p. 9

van Lengen: Manual del arquitecto descalzo, p.311

partitions and ceilings. According to studies at Dehra Dun these boards are quite water-, insect- and fungi-resistant and proved to be still sound after being buried for 7 years respective being soaked in water for three years. Furthermore attractive surfaces can be achieved by sprinkling bamboo or wood shavings on the boards before pressing.²⁵ It is also possible to obtain bamboo flakeboards from bamboo shavings and sawdust. The processing and the properties are the same as for flakeboards out of wood, as well as the applications. Because bamboo - as a hollow tube - doesn't consist of much material compared to its volume, it is not very economical cutting it into flakeboards, especially as other methods of processing bamboo don't leave enough bamboo waste to feed the flakeboard production. In the contrary, producing bamboo flakeboards means sacrificing good bamboo qualities in order to obtain a mediocre material.

6.4. PREFABRICATED BUILDING PARTS

Though not a new idea, building parts out of bamboo could be produced more effectively in industrial serials, thus reaching a greater distribution and better prices. Industrially produced bamboo parts could be an ecologically favorable alternative for corresponding products of conventional materials.

These products include bamboo parquet out of laminated bamboo, readymade ceiling panels out of either laminated bamboo, bamboo strips, bamboo mats or plybamboo, roof tiles out of half culms used like monk and nun, bamboo shingles for roofs and coverings, and pipes and cable channels. Also bamboo culms used for scaffolding could be serially pre-cut.

7. SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Bamboo with its various uses and its special properties of growing could play an important role in the sustainable development in the tropics. It grows fast, is easily available and offers an excellent performance as a material, so it can be an alternative to destroying the tropical forests, be used in reforestation and prevention of erosion and of course help in binding carbondioxide. Furthermore working bamboo doesn't require complicated machinery or special knowledge,

6.3. MATERIALES AGLOMERADOS

Otro prometedor uso del bambú de una manera más industrializada es la producción de tableros de bambú. Las capas de bambú obtenidos por el sistema de rotación descritos anteriormente son excelentes para "plybamboo" - un material de junta de varias capas de bambú en ángulo recto con las adyacentes, similar a la madera contrachapada.

El término plybamboo también se utiliza para el ensamble de (casi) tres esteras de bambú empapada con una solución de resina y se presiona con el calor. Tableros similares hechos de una estera han demostrado ser flexibles y especialmente adecuados para las particiones de la luz y los techos. De acuerdo con estudios en Dehra Dun estas placas son bastante resistentes al agua, insectos y hongos y han demostrado servir aún después de haber sido enterrados durante 7 años y sumergidos en agua durante tres años. Además atractivas superficies se pueden conseguir por aspersión de virutas de madera o bambú en las juntas antes de pasarlas por la prensa.²⁵ También es posible obtener tableros aglomerados de virutas y aserrín de bambú. El procesamiento y las propiedades son las mismas que para los tableros aglomerados de madera, así como las aplicaciones. Considerando que el bambú - como un tubo hueco - no contiene gran cantidad de material en comparación con su volumen, no es muy rentable cortarlo en virutas, especialmente porque otros procesos no dejan residuos de bambú suficiente para alimentar esta producción. Por el contrario, la producción de virutas de bambú significa sacrificar la buena calidad del bambú con el fin de obtener un material mediocre.

6.4. CONSTRUCCIÓN DE PARTES DE EDIFICIOS PREFABRICADOS

Aunque no es una idea nueva, la construcción de piezas de bambú podrían ser producidos con mayor eficacia en series industriales, alcanzando así una mayor distribución y mejores precios. Producir industrialmente piezas de bambú puede ser una alternativa ecológicamente favorable para los correspondientes productos de materiales convencionales.

Estos productos incluyen parquet de bambú laminado, paneles prefabricados para cielos de bambú laminado

which makes it extremely interesting for less developed regions. What can bamboo do in sustainable architecture?

“Sustainable architecture refers to the practice of designing buildings which create living environments that work to minimize man’s use of resources. This is reflected both in a building’s construction material and methods and in its use of resources (...)• The operating concept is that structures so designed “sustain” their users by providing healthy built environments, improving the quality of life, and avoiding the production of waste, to preserve the long time survivability of the human species.”²⁶

There are five principles of sustainable architecture listed by the United Nations:

1. Healthful interior environment

Bamboo as a natural material surely can fulfill this demand, but what about the necessary treatment? Is it really not emitting any toxic substances?

2. Resource efficiency

This point refers mostly to energy-using systems inside the building, like heating, cooling and water supply. And still nowadays most of the bamboo houses don’t have these systems. But with adequate construction methods it’s possible to obtain a well-ventilated bamboo house that keeps you cool by day and warm at night.

3. Ecologically benign materials

It was already remarked that the cultivating of bamboo is environmentally benign. As bamboo can be used as it grows or respectively not much processing is needed, the building process is low in energy, there isn’t much waste, and the waste produced is biological one. Bamboo can be grown near the building site, so there won’t be costly and energy-wasting transport. Even if bamboo has to be transported, it’s extremely light-weighted, so no heavy machinery is needed - which is also true for the building process.

4. Environmental form

The building should be designed in close relationship to its site, the region and the local climate. Bamboo is

o bien, los listones de bambú, esteras de bambú o las baldosas plybamboo, techo de cañas utilizado machimbrado, tejas de bambú para cubiertas y revestimientos, tuberías y cables. También las cañas de bambú para los andamios utilizados en serie podrían ser pre-cortadas.

7. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

El bambú con sus diversos usos y sus propiedades especiales de crecimiento podría desempeñar un papel importante en el desarrollo sostenible en los trópicos. Crece rápidamente, es de fácil acceso y ofrece un excelente rendimiento como material, por lo que puede ser una alternativa a la destrucción de los bosques tropicales, pueden utilizarse en la reforestación y la prevención de la erosión y de ayuda en la fijación de dióxido de carbono. Además trabajar el bambú no requiere maquinaria complicada o conocimientos especiales, lo que hace que sea muy interesante para las regiones menos desarrolladas. ¿Qué se puede hacer de bambú en la arquitectura sostenible?

“La arquitectura sostenible se refiere a la práctica de diseño de edificios que crean condiciones de vida que reducen al mínimo el uso de los recursos por el hombre. Esto se refleja tanto en los materiales de construcción de un edificio, los métodos y en el uso de los recursos (...) • El concepto de funcionamiento es que las estructuras diseñadas “sostengan” a sus usuarios al proporcionar entornos saludables de construcción, mejora de la calidad de vida, y evite la producción de residuos, para preservar la supervivencia de la especie humana.”²⁶

Hay cinco principios de la arquitectura sostenible enumerados por las Naciones Unidas.:

1. Interiores saludables

El bambú, como material natural puede suplir esta demanda, pero qué pasa con el tratamiento necesario? Realmente no emite sustancias tóxicas?

2. Eficiencia en los recursos

Se refiere principalmente a los sistemas energéticos del edificio, como calefacción, climatización y suministro de agua. Y aún hoy en día la mayoría de las casas de bambú no tienen estos sistemas. Pero con los métodos de construcción adecuados es posible obtener una casa bien ventilada, de bambú que se mantenga fresca durante el día y cálida por la noche.

a native material in many regions and so truly related to the site. There's already a long tradition in building bamboo houses, but in many places tradition has already been skipped - so there is a need in finding new forms of using bamboo in buildings. And building bamboo houses in climates the bamboo can't stand, like in Europe or Northern America, surely is far from being sustainable.

5. Good design

Scientists have been and are still working on classifying bamboo's properties - so it's now up to architects and designers to find logical and natural ways of applying bamboo in construction, according to its properties and not trying to overwhelm them.

8. EARTHQUAKE RESISTING ARCHITECTURE

When stiff massive structures out of everlasting steel-reinforced concrete have long since been crushed by earthquakes, the lightweight, seemingly feeble constructions out of bamboo and bamboo-derived materials still stand up. Why? The keywords have already been mentioned: a stiff structure isn't flexible, so if the forces exceed a certain limit, the structure just can't bend aside, so it cracks. But the lightweight structures of bamboo are flexible, what enables them to absorb even the forces of an earthquake. The flexible qualities of bamboo are also maintained in composed material as used for example in prefabricated panels, and still covered with mortar, the constructions are much lighter than those out of concrete.

"Earthquake forces that a building has to withstand are proportional to its weight and are predominantly horizontal. The heavier a building, the more likely it is to get damaged during an earthquake. (...) Experience in different seismic regions of the world has shown that a house built of bamboo, properly lashed together, is earthquake resistant. In this respect bamboo is somewhat superior to timber. It has the capacity to absorb more energy and shows large deflection before failure occurs. A bamboo frame structure therefore yields readily to the vibrations and contortions of the earth during an earthquake and does not readily collapse. Even if such a mishap were to occur, loss of life and property is not large because it is a lightweight structure."¹⁶

3. Materiales ecológicamente benignos

Ya se ha señalado que el cultivo del bambú es ambientalmente benigno. Como el bambú se puede utilizar a medida que crece o, en proceso, el proceso de construcción es bajo en energía, no hay mucha desecho y los residuos producidos son biológicos. El bambú puede crecer cerca del sitio en construcción, por lo que no habrá transporte costoso que desperdicie energía. Incluso si el bambú tiene que ser transportado, es extremadamente ligero de peso, por lo que no se necesita maquinaria pesada - que también es válido para el proceso de construcción.

4. Forma medioambiental

El edificio debe estar diseñado en estrecha relación con su sitio, la región y el clima local. El bambú es un material natural presente en muchas regiones y por lo tanto realmente relacionado con el sitio. Existe una larga tradición en la construcción de casas de bambú, pero en muchos lugares ya se ha olvidado - por lo que existe una necesidad de encontrar nuevas formas de usar el bambú en los edificios. Y la construcción de casas de bambú en climas donde el bambú no se puede mantener, como en Europa o América del Norte, sin duda está lejos de ser sostenible.

5. Un buen diseño

Los científicos han estado y todavía están trabajando en la clasificación de las propiedades del bambú - por lo que ahora los arquitectos y diseñadores deben encontrar la manera lógica y natural de la aplicación del bambú en la construcción, de acuerdo con sus propiedades y no tratar de abrumarlo.

8. ARQUITECTURA ANTISÍSMICA

Las estructuras rígidas masivas de hormigón armado son destruidas por los terremotos, mientras que las construcciones ligeras, aparentemente débiles a partir de materiales de bambú y sus derivados, se mantienen en pie. ¿Por qué? Las palabras clave ya se han mencionado: una estructura rígida no es flexible, por lo que si las fuerzas superan un cierto límite, la estructura no puede oscilar, y se agrieta. Sin embargo, la estructura ligera de bambú es flexible, lo que les permite absorber incluso las fuerzas de un terremoto. Las cualidades de flexibilidad del bambú también se mantienen en el material compuesto que se utiliza, por ejemplo en paneles prefabricados, aún cubierto con mortero, las construc-

¹⁶ UN: The use of bamboo and reed in building construction, p. 77f

There are various reports from Colombia, Costa Rica and Nicaragua about bamboo buildings surviving earthquakes in areas where few other buildings kept standing. But there are two other points in the relationship bamboo - earthquake well worth considering: "Quake-zone city planners can ponder the Japanese tradition that a bamboo grove is the safest place to be in an earthquake. Dense growth of bamboo around a building functions in the soil as windbreaks act in the air: rhizomes buffer the blow and diminish the intensity of motion. Widely planted in any quake zone, bamboos absorb much of the earth's ripple, moreover provide immediate construction material for temporary disaster shelters."¹⁷

8.1. OUTLOOK - FUTURE POSSIBILITIES AND CRITICISM

Several aspects concerning further research have already been mentioned in the text. In the UN-paper "The use of bamboo and reeds in building construction" the following recommendations for further research are made:

- Improved preservative treatment for insects, rot and fire
- Architect designed model houses
- Selection of species for cultivation
- Improved methods of fastening
- Bamboo particle boards for both bamboo

and reinforced concrete construction¹⁸ Though these recommendations date from nearly 30 years ago, and though a lot of research has been done, they are still of actuality.

Also structures out of bamboo in combination with other materials should be subject to further research, for example bamboo as compression member in combination with tension cables out of steel or even bamboo ropes.

Another problem in bamboo research is that international standards for the existing knowledge have yet to be defined in order to make it widely available. The knowledge, too, should be transferred into a level understandable for the main clientele of bamboo architecture - rural third world population. The studies of J. Janssen of the Eindhoven University of Technology on knowledge standards, testing methods and building codes for bamboo are a promising step in this direction.

¹⁷ Farrelly: The book of bamboo, p. 102.

^{18, 29} UN: The use of bamboo and reeds in building construction, p. 78f

²⁶ Steinfeld: Sustainable Architecture, p. 1

ciones son mucho más ligeras que las de hormigón.

"Las fuerzas de sismo que un edificio tiene que soportar son proporcionales a su peso y son predominantemente horizontales. Cuanto más pesado es un edificio, lo más probable es que se dañe durante un terremoto. La experiencia (...) en diferentes regiones sísmicas del mundo ha demostrado que una casa construida en bambú, debidamente atados entre sí, es a prueba de terremotos. En este sentido, el bambú es algo superior a la madera. Tiene la capacidad de absorber más energía y mostrará una desviación grande antes de que ocurra una falla. Una estructura de almacén de bambú por lo tanto, responde fácilmente a las vibraciones y las contorsiones de la tierra durante un terremoto y no se derrumba fácilmente. Incluso si un accidente se produce, la pérdida de vidas y bienes no es muy grande debido a la liviandad de la estructura."¹⁶

Existen varios informes de Colombia, Costa Rica y Nicaragua sobre edificios de bambú que han soportado los terremotos en áreas donde pocos otros edificios han sobrevivido. Pero hay otros dos puntos relacionados al bambú. -los terremotos deben ser considerados: "la zona del terremoto, los planificadores de la ciudad pueden ponderar la tradición japonesa de que un bosque de bambú es el lugar más seguro para estar en un terremoto. Crecimiento denso de bambú en torno al edificio funciona en el suelo como la protección contra el viento actúa en el aire: los rizomas amortiguan el golpe y disminuyen la intensidad del movimiento. Sembrado en cualquier zona del sismo, los bambúes absorben gran parte de la ondulación de la tierra, además, proporcionan material de construcción inmediata para los refugios temporales del desastre."¹⁷

8.1. PUNTO DE VISTA - LAS POSIBILIDADES FUTURAS Y LA CRÍTICA

Varios aspectos relacionados con la investigación han sido mencionados en el texto. En el documento de la ONU "El uso del bambú y las cañas en la construcción de edificios" se realizan las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

- Mejorar los tratamientos preservantes contra insectos, podredumbre y fuego
- Arquitecto diseñe casas modelos
- La selección de especies para el cultivo
- Mejorar los métodos de fijación
- Tableros de bambú de partículas para construcción tanto de bambú como de concreto reforzado.

The interest in bamboo as a construction material at the time is increasing very much according to bamboo's ecological qualities, but in the general euphoria many people consider bamboo a "cure-all", which it is certainly not. Much effort is made to use bamboo for duties it is not apt for, which can only lead to costly and technologically overdone solutions - and that was surely not the purpose. The same can be said about the tendencies to establish bamboo houses in climates the bamboo is not suitable for. Instead the uses according to its properties and the optimization of the already acquired techniques should be encouraged - as it turned out till now, few thoughts on bamboo have been new - most are just a clever re-interpretation of something already known.

Aún cuando estas recomendaciones datan de hace casi 30 años, y aunque una gran cantidad de investigaciones se han hecho, siguen siendo de actualidad.

También las estructuras de bambú, en combinación con otros materiales deben ser objeto de mayor investigación, por ejemplo el bambú como miembro de compresión en combinación con los cables de tensión de las cuerdas de acero o incluso de bambú.

Otro de los problemas de investigación sobre el bambú es que las normas internacionales para el conocimiento existente aún no se han definido con el fin de hacer una amplia difusión. El conocimiento también debería ser transferido a un nivel comprensible para la clientela principal de la arquitectura de bambú - la población rural del tercer mundo. Los estudios de J. Janssen, de la Universidad de Tecnología de Eindhoven en los niveles de conocimiento, métodos de prueba y los códigos de construcción para el bambú es un paso prometedor en esta dirección.

El interés en el bambú como material de construcción aumenta en gran medida de acuerdo a las cualidades ecológicas de bambú, pero en la euforia general, muchas personas consideran que el bambú es un "curalo-todo", que ciertamente no es. Se pierde mucho esfuerzo en el uso de bambú en deberes para los que no es apto y que sólo pueden conducir a soluciones costosas y exagerada tecnología - y que no era el propósito. Lo mismo puede decirse acerca de la tendencia a establecer casas de bambú en los climas donde el bambú no es adecuado. En su lugar debe promoverse el uso de acuerdo con sus propiedades y la optimización de las técnicas ya adquiridas, - como se ha visto hasta ahora, algunas reflexiones sobre el bambú no son nuevas - la mayoría son sólo una relectura de algo ya conocido.

9. ILLUSTRATION SOURCES

1. Villegas, Tropical bamboo, image 11
2. Picture Margit Habusta
3. UN, The use of bamboo and reeds in building construction, fig. VII
4. Farrelly, The book of bamboo, p. 138
5. Farrelly, The book of bamboo, p. 138
6. Farrelly, The book of bamboo, p. 15
7. Picture Margit Habusta
8. Villegas, Tropical bamboo, image 27
9. UN, The use of bamboo and reeds in building construction, fig. XI
10. Van Lengen, Manual del arquitecto descalzo, p. 31 Of
11. Hidalgo, Bambu, p. 223
12. Hidalgo, Bambu, p. 211
13. Picture W. Eberts, in: <http://www.bambus.de/bambus-cgi/10001ist7building>
14. Duly, Houses of mankind, image 8
15. Fonseca & Saldarriaga, Arquitectura popular en Colombia, p. 150
16. Picture Margit Habusta
17. Farrelly, The book of bamboo, p. 47
18. Picture W. Liese, in: <http://www.bambus.de/bambus-cgi/10001ist7building>
19. Picture Margit Habusta
20. Picture Margit Habusta
21. Picture Margit Habusta
22. Picture Margit Habusta
23. Picture Margit Habusta
24. Picture Margit Habusta
25. Van Lengen, Manual del arquitecto descalzo, p. 311
26. Hidalgo, Bambu, p. 203
27. Villegas, Tropical Bamboo, image 40
28. Picture Gunter Pauli, in: <http://www.bambus.de/bambus-cgi/10001ist7building>
29. Tan Hock Beng, Tropical resorts, p. 117
30. UN, The use of bamboo and reeds in building construction, fig. XLIII
31. es.wikipedia.org/wiki/Simón_Vélez
32. Picture Michel Abadie, in: <http://www.bambus.de/bambus-cgi/10001ist7building>
33. Picture W. Liese, in: <http://www.bambus.de/bambus-cgi/10001ist7building>

10. Bibliography

- VI. International Bamboo Workshop, V. International Bamboo Congress: Abstracts; San José, 1998.
- Acquier, Jean-Louis: Le Burundi; Editions Parentheses, Marseille 1986.
- Bain, Carol: Bamboo in Hawaii; Puhi 1995.
- Cauty, John: The Grass House Game; unpublished
- Crouzet Simon, Colin Olivier, Bambous, Ulmer, 2002, Francia, pág. 7.
- Dixon, Katie: Regeneration; in: Metropolis June 1998.
- Duly, Colin: The Houses of Mankind; Thames and Hudson, London 1979.
- Farrelly, David: The Book of Bamboo; Thames and Hudson, London 1996.
- Fonseca Martínez, Lorenzo & Saldarriaga Roa, Alberto: Arquitectura Popular en Colombia; Altamir Ediciones, Bogotá, 1992.
- Hidalgo, Oscar: Bambú, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía; Estudios Técnicos Colombianos, Bogotá 1974.
- INBAR: Bamboo And Rattan Worldwide; in: www.inbar.org.cn
- Janssen, Jules J. A.: Papers for the VI. International Bamboo Congress; unpublished
- Lim, William S. W. & Tan Hock Beng: The New Asian Architecture; Select Books Pte Ltd, Singapore 1998
- Lippsmeier, Georg: Tropenbau/Building in the Tropics; Callway, Munich 1980.
- Moed, Andrea: Bamboozler; in: Metropolis June 1998.
- Pearson, David: El Libro de la Casa Natural; Ediciones Oasis, Barcelona 1991.
- Steinfeld, Carol: Sustainable Architecture; in: www.Ecological_engineering.com
- Tan Hock Beng: Tropical Resorts; Page One Publishing, Singapore 1995
- Timms, Jonathan: Living It Up In Bamboo; in: <http://vietnamnews.com.vn> United Nations - Department of Economic and Social Affairs: The Use of Bamboo and Reeds in Building Construction; United Nations Publication, New York 1972.
- Van Lengen, Johan: Manual del Arquitecto Descalzo; Editorial Concepto, México 1980.
- Villegas, Marcelo: Tropical Bamboo - Bambusa Guadua; Villegas Editores, Bogotá, 1989.

CONTEMPORARY DESIGN USING BAMBOO / DISEÑO CONTEMPORANEO EN BAMBÚ



Ming Tang's beautiful origami-inspired Folded Bamboo Houses are intended to be used as temporary shelters in the aftermath of an earthquake. Brilliant in their simplicity, the geometric shelters are constructed from renewable materials and can be folded into a variety of structurally sound shapes. Their elegant design was recently honored as a notable mention in this year's Re:Construct competition sponsored by San Francisco's Urban Re:Vision

The Origami-Inspired Folding Bamboo House
by Jorge Chapa, 10/22/08

Sitio web: inhabitat.com

Las hermosas casas plegadas de bambú de Ming Tang's inspiradas en el origami, se proponen como refugios temporales luego de un terremoto. Brillante en su simplicidad, los refugios geométricos se construyen de materiales renovables y se pueden plegar en una variedad de formas estructuralmente sólidas. Su elegante diseño fue recientemente honrado con mención honorífica en el concurso Re:Construct patrocinado por San Francisco's Urban Re:Vision

The Origami-Inspired Folding Bamboo House
by Jorge Chapa, 10/22/08

Sitio web: inhabitat.com